Univerzitet u Beogradu
Fizički fakultet
Institut za meteorologiju

Prof. dr Lazar Lazić

Vazduhoplovna meteorologija



RHMZ
Beograd 2012.

S A D R Ž A J

1. UVOD

Uslovi letenja vazduhoplova zavise od mnogih faktora među koje spada i stanje spoljne sredine kroz koju se oni kreću. Pojedine meteorološke pojave kao što su: grmljavine, magle, zaleđivanje aviona, turbulencija i jaki vetrovi pokazuju znatan uticaj na normalno odvijanje vazdušnog saobraćaja, a u nekim slučajevima mogu ga otežati ili čak prekinuti.

Prema postojećim dokumentima, propisima i preporukama Međunarodne organizacije za civilno vazduhoplovstvo (ICAO = International Civil Aviation Organization) i Svetske meteorološke organizacije (WMO = World Meteorological Organization), izloženi su principi, potrebe i načini meteorološkog obezbeđenja vazdušnog saobraćaja u cilju stručnijeg i efektivnijeg rada, povećanja bezbednosti i redovnosti letenja.

Vazduhoplovna meteorologija je grana meteorologije, koja posebnim informacijama o stanju atmosfere i prognozama doprinosi bezbednosti i ekonomičnosti vazduhoplovstva. Ona takođe proučava uticaj meteoroloških elemenata i pojava na vazduhoplove, njihovu tehniku i eksploataciju. Vazduhoplovna meteorologija je povezana sa više vazduhoplovnih oblasti, kao što su aerodinamika, teorija letenja, vazduhoplovna navigacija i dr. S druge strane vazduhoplovna meteorologija je u tesnoj vezi i sa drugim granama meteorologije, kao što su: dinamička meteorologija, sinoptička meteorologija, aerologija, klimatologija i dr.

Složenost meteoroloških uslova letenja uglavnom se odnose prema karakteristikama oblačnosti, vidljivosti i vetra. Poletanje i sletanje vazduhoplova, njihovo upravljanje, komfornost i bezbednost letenja zavise takođe od temperature vazduha, vazdušnog pritiska, zaleđivanja vazduhoplova u letu, turbulencije i još nekih meteoroloških elemenata i pojava. Zbog toga je u svetu došlo do organizovanja vazduhoplovnih službi na aerodromima, kao i do osnivanja nacionalnih, regionalnih i svetskih meteoroloških centara za potrebe vazduhoplovstva.

Meteorološki elementi i pojave koje utiču na vazdušni saobraćaj nisu uvek negativni. U pojedinim vremenskim situacijama oni mogu pomagati da se let aviona obavi brže i ekonomičnije. To se dešava pri repnom vetru na liniji leta kojim se povećava putna brzina aviona, skraćuje vreme letenja i štedi gorivo. Niža temperatura vazduha, veće vrednosti vazdušnog pritiska, kao i jak vetar, često mogu obezbediti mogućnost poletanja aviona i pri većim opterećenjima od uobičajenih. Inače, bez takvih meteoroloških uslova avioni ne bi mogli uvek poletati.

Vazduhoplovna meteorologija je jedna od primenjenih grana meteorologije. Nastala je i razvijala se uporedo sa razvojem avijacije, koja joj je postavljala zadatke i određivala oblasti istraživanja, ali joj je, istovremeno, i pomagala u rešavanju tih problema. Na primer, bez mnogobrojnih podataka o vremenskim procesima, koji su dobijeni osmatranjima iz aviona, vazduhoplovna meteorologija ne bi dostigla sadašnji nivo razvoja.

Kada je reč o primeni meteorologije u vazduhoplovstvu, treba poći od činjenice da se već pri planiranju izgradnje aerodroma mnoge važne odluke donose na osnovu izučavanja vremenskih uslova. Naime, na osnovu klimatoloških podataka određuje se lokacija aerodroma, na osnovu podataka o preovlađujućem pravcu i brzini vetra donosi se odluka o pravcu protezanja, pa i o dužini piste, i slično. Naravno da je za letenje veoma važno kakvi će se procesi odvijati u atmosferi. U stvari, značajni su samo donji delovi atmosfere, do visine od oko 30 km, do koje lete savremeni avioni.

Koji će meteorološki elementi i pojave imati najveći uticaj na letenje, zavisi od mnogih činilaca, na primer, od vrste vazduhoplova i njegove opremljenosti i dr. Skup delovanja svih meteoroloških činilaca koji utiču na letenje nazivamo meteorološkim uslovima za letenje. Kada je uticaj meteoroloških činilaca takav da se pri njima ne može leteti, smatramo da su meteorološki uslovi nepovoljni za letenje. Pri nešto boljim vremenskim prilikama, kada se, iako otežano, ipak može leteti, meteorološki uslovi za letenje su složeni. U još pogodnijim slučajevima vladaju povoljni meteorološki uslovi. Na osnovu ovih objašnjenja moglo bi se pretpostaviti da te tri vrste meteoroloških uslova nisu dovoljno jasno razgraničene. Ali, nije tako – svaki od njih je sasvim jednoznačno definisan određenim vrednostima meteoroloških elemenata i postojanjem ili nepostojanjem određenih meteoroloških pojava.

Treba naglasiti i da su posebno definisani meteorološki uslovi za sletanje i poletanje, jer se odnose na izuzetno važne delove leta. Oni mogu biti povoljni, kada je poletanje i sletanje moguće izvesti bezbedno i nepovoljni, kada to nije slučaj.

Koliki je uticaj meteoroloških uslova na letenje pokazuju i podaci ICAO, koji pokazuju da su u svakoj od poslednjih 30-ak godina meteorološki uslovi bili neposredni uzrok 6–20% avionskih udesa. Kada se uzmu u obzir i posredni uticaji vremenskih prilika, dobija se podatak da su u približno trećini slučajeva meteorološki uslovi doveli do avionskih udesa. Od ukupnog broja ovih udesa, 80% se dogodilo u toku poletanja ili sletanja aviona, tj., na aerodromu, a preostali deo na marš-ruti.

Predmet izučavanja vazduhoplovne meteorologije su sledeće oblasti:

- vazduhoplovna meteorološka osmatranja;
- uticaj meteoroloških elemenata i pojava na rad vazduhoplovstva, gde se pažnja, pre svega, poklanja pojavama koje predstavljaju opasnost za letenje;
- razmatranje meteoroloških uslova za letenje i njihovog uticaja na izvršavanje letova vazduhoplova;
- meteorološko obezbeđenje letenja.

Poslednja oblast je vrlo kompleksna i obuhvata: rezultate istraživanja svih prethodnih oblasti, analizu i prognozu vremena, kao i postupke u toku planiranja, pripreme i izvođenja letenja.

Organizacija i delatnost civilnog vazduhoplovstva u međukontinentalnim okvirima, kao i meteorološko obezbeđenje letenja vazduhoplova, ne bi se moglo zamisliti bez saradnje svih zemalja učesnica u vazdušnom saobraćaju. Zato međunarodne organizacije ICAO I WMO aktivno sarađuju po svim pitanjima izbora i distribucije meteoroloških podataka i informacija koje su od vitalnog interesa za letenje vazduhoplova. ICAO izražava potrebe za meteorološkim podacima i informacijama koje dolaze od strane korisnika u vazdušnom saobraćaju, a WMO daje naučna i stručna obrazloženja o mogućnosti udovoljenja traženih zahteva i potreba u vidu preporuka, pravila, obaveza kao i različitih instruktivnih materijala koji su obavezni za sve zemlje njene članice.

U bližoj budućnosti predviđa se da će se u redovnom civilnom vazdušnom saobraćaju pojaviti veći broj različitih tipova nadzvučnih i superzvučnih aviona, aviona sa vertikalnim poletanjem i sletanjem i vazdušnih brodova – dirižabla. U vezi sa tim nastaće niz novih zahteva i problema meteorološkog karaktera.

Dinamičan razvoj vazdušnog saobraćaja dovešće do neophodnosti još brže međukontinentalne razmene meteoroloških podataka i informacija, kojima treba da raspolažu vazduhoplovne meteorološke službe na aerodromima.

Timovi naučnika i istraživača, konstruktora i stručnjaka mnogih zemalja u oblasti radio i radarske struke, elektroničari i energetičari, mehaničari i hemičari rade na usavršavanju postojeće i konstruisanju nove meteorološke tehnike koja će doprineti bezbednijem letenju vazduhoplova.

Mada već danas bezbednost vazdušnog saobraćaja, uključujući i meteorološku, zadovoljava praksu, biće potrebno i dalje ulagati napore da se ona još više usavrši, jer će to zahtevati budući nadzvučni i superzvučni vazdušni saobraćaj.

1.1 METEOROLOŠKI USLOVI ZA LETENJE

Meteorološki uslovi su jedan od važnih elemenata vazdušne situacije i bitno utiču na izvršenje svih vrsta letova. Meteorološke uslove letenja sačinjavaju svi meteorološki elementi i pojave, koji vladaju na aerodromu i marš-ruti ili rejonu letenja i utiču na letenje. Kao takvi oni mogu da olakšaju, otežaju ili onemoguće letenje. Shodno tome, *meteorološki uslovi mogu biti povoljni, složeni i nepovoljni* za letenje (Čobanov, 1992).

Povoljni ili prosti meteorološki uslovi omogućavaju vizuelno letenje; u složenim meteorološkim uslovima moguće je samo instrumentalno letenje. Pri nepovoljnim meteorološkim uslovima letenje nije dozvoljeno, izuzev u slučaju nužde ili po specijalnom odobrenju.

Povoljni meteorološki uslovi za letenje su oni pri kojima je moguće vizuelno izvršenje celog leta na bezbednoj visini, uključujući poletanje i sletanje. Ovde spadaju letovi:

- iznad oblaka čija količina ne prelazi 4/8;
- danju;
- do visine 15 km;
- iznad mora ili terena sa orijentirima, kada se vidi obala ili prirodni horizont;
- pri slabim ili umerenim padavinama;
- noću, samo određenim tipovima aviona

Složeni meteorološki uslovi za letenje su oni pri kojima se letenje u potpunosti ili približno vrši po instrumentima, kao što su letovi:

- u oblacima;
- između ili iznad oblaka čija količina iznosi 5/8 ili više, bez vidljivosti ili sa povremenom vidljivošću Zemlje;
- u stratosferi, na visinama iznad 15 km, bez obzira na oblačnost i vidljivost;
- pri intenzivnim padavinama i sipećoj kiši.

Nepovoljni meteorološki uslovi su:

1. Za poletanje i sletanje:

- oblaci kumulonimbusi praćeni grmljavinom i jakim udarima vetra, grad i ledena kiša;
- magla, pljusak, mećava i gusta sumaglica, pri kojima je vidljivost smanjena ispod propisanog meteorološkog minimuma za aerodrom (vazduhoplov);

- niski oblaci sa donjom granicom ispod propisanog meteorološkog minimuma za aerodrom (vazduhoplov);
- ako je na PSS ili na stazama za voženje poledica, lapavica ili snežni pokrivač iznad dozvoljenih granica.

2. Za let na marš-ruti:

- frontalni i lokalni kumulonimbusi i grad, koji ne mogu da se obiđu;
- intenzivno zaleđivanje aviona koje ne može da se odstrani raspoloživim sredstvima za razleđivanje i svako zaleđivanje (bez obzira na intenzitet) za avione koji nisu opremljeni sredstvima za razleđivanje;
- jaka turbulentnost, koja ugrožava bezbednost letenja;
- kada su u planinskim predelima vrhovi i prevoji pokriveni oblacima pri vizuelnom letenju.

2. VIDLJIVOST I OBLAČNOST

Vidljivost i oblačnost znatno utiču na sve faze leta: na poletanje, let na marš-ruti (ili u zoni) i sletanje. U vezi sa vidljivošću i oblačnošću određuju se načini letenja u vazdušnom prostoru: vizuelno letenje (VFR) ili instrumentalno letenje (IFR). Vidljivost i oblačnost uz druge meteorološke elemente i pojave, određuju i meteorološke uslove za letenje koji mogu biti: *povoljni (PMU), složeni (SMU) ili nepovoljni (NMU).*

2.1 KLASIFIKACIJA VIDLJIVOSTI

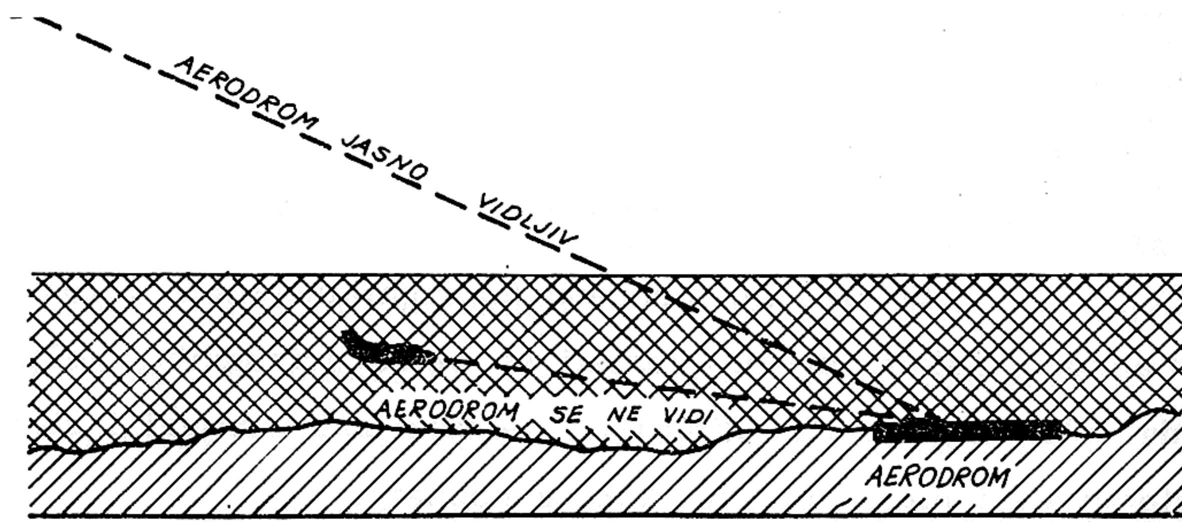
U vazduhoplovstvu postoje tri vrste vidljivosti: *horizontalna, kosa i vertikalna*.

Horizontalna vidljivost. Prema preporukama Svetske meteorološke organizacije (WMO) i Međunarodne organizacije za civilno vazduhoplovstvo (ICAO) osmatranje vidljivosti se vrši u svim pravcima (u aerodromskom krugu) od mesta osmatranja, ali se u meteorološkim izveštajima daje najmanja vrednost horizontalne vidljivosti, bez obzira na pravac u kome je osmotrena. Tako npr., ako je vidljivost prema pristanišnoj platformi procenjena na 1 km, na prilazu 3 km, na suprotnom kraju piste 5 km itd., meteorološki osmatrač će u izveštaju dati najmanju vrednost, tj. 1 km. Ova vidljivost se zove *horizontalna meteorološka vidljivost*. Kada je horizontalna meteorološka vidljivost manja od 1500 m, u izveštaj se uključuje i podatak o vidljivosti duž piste (RVR Runaway Visual Range). To je ustvari tehnička vidljivost i predstavlja daljinu vidljivosti duž poletno-sletne staze koju će pilot moći da vidi u završnom prilaženju, odnosno sletanju.

Kosa vidljivost. Kosa vidljivost predstavlja koso rastojanje između pilota i objekta koji osmatra (sl. 2.1). Pošto kosu vidljivost može da određuje samo pilot, to se ovaj podatak ne daje u meteorološkim izveštajima.

Razlika između kose i horizontalne vidljivosti može da bude veoma velika ako pilot leti iznad magle pri kojoj je nebo vidljivo ili kada je iznad aerodroma jaka sumaglica. U meteorološkim izveštajima osmatrač daje horizontalnu vidljivost manju od 1 km zbog magle, odnosno nešto veću vidljivost duž piste. U ovakvim situacijama pilot može sa prilično velike udaljenosti od aerodroma (10 do 15 km) i sa velike visine da ugleda pistu, pristanišne zgrade, kontrolni toranj i slično, i da od kontrolora letenja traži da iz IFR (pravila za instrumentalno letenje) pređe na VFR (pravila za letenje po spoljnjoj vidljivosti). Međutim, na završnom prilaženju pred sletanje, kada avion uleti u sloj magle (ili guste sumaglice), vidljivost će biti manje od 1 km i pista se neće više videti. Ovakvi slučajevi su veoma opasni i mogu da dovedu do udesa.

Obrnut slučaj je kad avion leti iznad oblaka. Ako leti npr. iznad gustog As, kosa vidljivost će biti mala (od pilota pa do gornje granice ovog oblaka), dok će horizontalna biti velika.



Sl.2.1 Završno prilaženje u situacijama sa maglom, pri kojoj je nebo vidljivo.

S obzirom da ne postoji egzaktan način merenja kose vidljivosti, u pojedinim zemljama se radi na tome da se odredi veza između horizontalne i kose vidljivosti, ali dobijeni rezultati nisu toliko pouzdani da bi se uveli u svakodnevnu praksu. Laserom je moguće meriti kosu vidljivost, ali bi impulsi laserske svetlosti bili usmereni u pravcu pilotovih očiju, što je neprihvatljivo iz bezbednosnih razloga (Pavlica, 1986).

Odnos kose i horizontalne vidljivosti. Odnos kose i horizontalne vidljivosti može biti raznovrstan, ali se, ipak, izdvajaju neke tipične situacije.

Pri postojanju niske oblačnosti mogu se izdvojiti tri tipična odnosa između kose (V_k) i horizontalne (V_h) vidljivosti.

Kada je visina baze oblaka manja od 100 m, odnos ove dve vidljivosti može se, približno, izraziti obrascem:

$$V_k = a \cdot V_h, \qquad a = 0{,}25–0{,}40$$

odnosno kosa vidljivost obično iznosi samo 20–40 % horizontalne vidljivosti pri tlu. Tako se često može dogoditi da je pri V_h=2–3 km, kosa vidljivost manja od 1 km.

1. Kada je visina baze oblaka 100–200 m, ovaj odnos je:

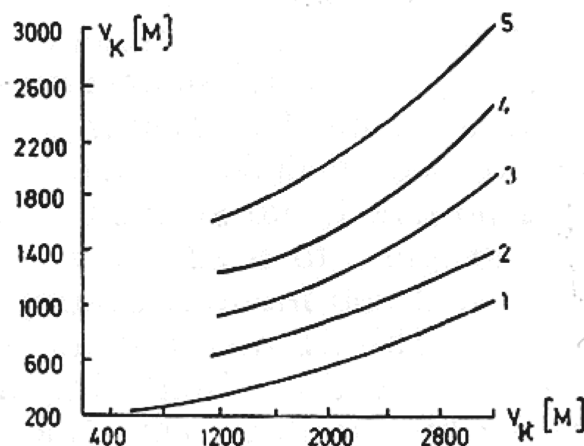
$$V_k = a \cdot V_h, \qquad a = 0{,}40–0{,}70$$

odnosno, kosa vidljivost obično iznosi 40–70 % horizontalne vidljivosti pri tlu.

2. Kada je visina baze iznad 200 m, ove vidljivosti su približne vrednosti:

$$V_k = V_h$$

Pod kosom vidljivošću se podrazumeva vidljivost duž linije prilaženja, pod uglom 2 do 6 stepeni iznad horizonta.



Sl. 2.2 Odnos horizontalne (V_h) i kose (V_k) vidljivosti pri visini baze oblaka:
1) Ispod 100 m, 2) od 100 do 150 m, 3) od 150 do 200 m, 4) od 200 do 300 m, 5) iznad 300 m

Na slici 2.2 ove zavisnosti prikazane su grafički. Na primer, pri horizontalnoj vidljivosti od 2000 m, kosa vidljivost može biti od samo 600 m (pri bazi ispod 100 m) pa do 2050 m (pri bazi ispod 300 m). Očito kosa vidljivost se povećava sa povišenjem baze oblaka. Razlog tome je činjenica da se pri sve nižoj bazi, sve veći deo linije prilaženja nalazi u podoblačnom sloju, sa smanjenom vidljivošću.

Pri vedrom vremenu, ili pri postojanju srednjih i visokih oblaka, kosa vidljivost može biti približna horizontalnoj ili veća od nje (pri magli i sličnim smanjenjima vidljivosti u prizemnom sloju vazduha).

Vertikalna vidljivost. Ova vidljivost se daje u meteorološkim izveštajima samo u vremenskim situacijama kada je nebo nevidljivo (zbog guste magle, snežne vejavice, prašinske ili peščane oluje i slično). Po definiciji, vertikalna vidljivost predstavlja vertikalno odstojanje između referentne visine aerodroma i donje granice pojave zbog koje je nebo nevidljivo.

Određivanje vidljivosti. Za vizuelnu procenu horizontalne meteorološke vidljivosti u aerodromskom krugu, koristi se skica prirodnih i veštačkih repera (brda, planine, fabrički dimnjaci i slično), čije je rastojanje od meteorološke stanice poznato.

Vidljivost duž poletno-sletne staze može da se procenjuje vizuelno ili meri instrumentalno.

Za vizuelnu procenu koriste se ivične ili centralne svetiljke piste ili posebna svetlosna linija. Da bi piloti i meteorološki osmatrači pod što sličnijim uslovima ocenjivali ovu vidljivost, obavezno je da intenziteti svetiljki pomoću kojih se vrši procena budu isti sa onim, kojim će se osvetliti pista prilikom sletanja vazduhoplova. U slučaju da postoji posebna svetlosna linija, svetiljke moraju da imaju potpuno iste karakteristike kao i svetiljke piste (Pavlica, 1986).

Za instrumentalno određivanje vidljivosti duž piste koriste se uređaji koji se zovu vizibilimetri, transmisiometri itd., koji se sastoje od davača, prijemnika, registratora i numeričkog pokazivača. Osnovni princip rada sastoji se u merenju srednje propustljivosti atmosfere duž neke određene putanje. Praktično, reč je o jednom projektoru konstantnog fluksa sa precizno određenim optičkim i mehaničkim karakteristikama, koji osvetljava prijemnik koji se nalazi na nekom rastojanju od projektora. Svetlosni mlaz omogućava da se izmeri propustljivost sloja atmosfere između davača i prijemnika, kao i srednja propustljivost atmosfere.

2.2 UZROCI SMANJENJA VIDLJIVOSTI

Vidljivost se u meteorologiji definiše kao maksimalno rastojanje između osmatrača i objekta koji se osmatra, pri čemu taj objekat (dimnjak, zgrade, kontrolni toranj na aerodromu itd.) mora da bude jasno vidljiv.

Vidljivost zavisi od pridodataka atmosfere. To su tečne i čvrste čestice koje dospevaju u atmosferu ili se stvaraju u njoj. Veći sadržaj ovih čestica izaziva i pogoršanje vidljivosti.

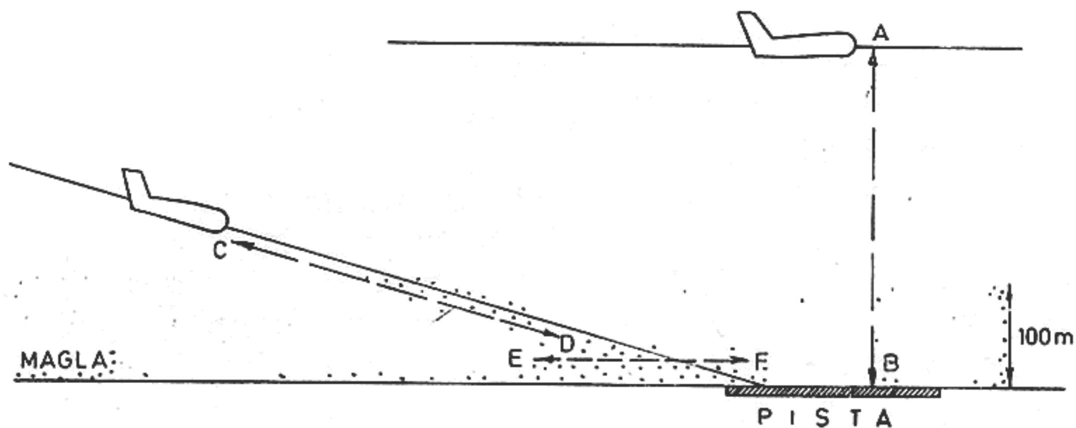
Meteorološke pojave koje dovode do pogoršanja vidljivosti su:

- magla i sumaglica;
- oblaci i padavine;
- peščane i prašinske oluje;
- čađ, dim, vulkanski pepeo, i sl.

Magla je skup sićušnih vodenih kapljica i ledenih kristalčića nastalih u procesima kondenzacije, mržnjenja i sublimacije u prizemnom sloju vazduha, koji lebde u vazduhu smanjujući vidljivost na manje od 1 km. Tri mehanizma su primarno odgovorna za formiranje magle a to su: *hlađenje vazduha* do temperature tačke rose, *dodavanje vodene pare* u vazduh i *vertikalno mešanje vlažnih delića vazduha* sa različitim temperaturama. Prvi mehanizam je uglavnom odgovoran za formiranje *radijacionih magli*, drugi za *frontalne magle*. Kombinacija sva tri mehanizma zastupljena je kod većine magli, s tim što jedan od njih dominira (Ćurić, 2001).

Magla je sa gledišta bezbednosti letenja *opasna meteorološka pojava*, ali za razliku od drugih opasnih pojava, ona predstavlja problem pre svega za sletanje a manje za poletanje. Prema intenzitetu, magle se dele na *veoma jake* (vidljivost manja od 50 m), *jake* (vidljivost od 50 do 200 m), *umerene* (vidljivost od 200 do 500 m) i *slabe* (vidljivost od 500 do 1000 m).

Radijacione magle formiraju se u stacionarnom ili slabo pokretnom vazduhu uz radijacijom ohlađeno tlo. Da bi se magla stvorila, neophodno je da postoji visoka relativna vlažnost uz Zemljinu površinu, da je pretežno vedro i da je prizemni vetar slab (1 – 4 m/s). Jači vetrovi će zbog turbulentnog mešanja vazduha rasturiti maglu. U potpuno mirnom vazduhu ohladiće se najniži sloj vazduha, pa će se formirati samo prizemna magla. Radijaciona magla se najčešće javlja ujutru, po izlasku Sunca. Češće se obrazuje na aerodromima pored reka, jezera i močvarnih oblasti, jer tu u vazduhu ima dovoljno vlage. Pošto je radijaciona magla veoma plitka (uglavnom oko 100 m), treba ukazati na njene posledice.



Sl. 2.3 AB – vertikalna, CD – kosa, EF – horizontalna vidljivost.

Kao što je na slici 2.3 prikazano, postoje tri značajne vrste vidljivosti: *horizontalna, vertikalna i kosa.* Pri radijacionoj magli vertikalna vidljivost je, najčešće, dovoljno dobra, pa će pilot videti pistu ispod sebe. Međutim pri sletanju, na liniji poniranja, vidljivost će biti manja. Razlog tome je duži put kroz maglu (u pravcu CD), pa će vidljivost najčešće biti nedovoljna i sletanje neće biti moguće ali će biti veoma otežano. U situaciji prikazanoj na slici, pilot će u tački C videti tlo pod sobom, ali ne i prag piste. Istovremeno, transmisiometar koji je postavljen pored piste, registrovaće horizontalnu vidljivost, koja će u ovom slučaju biti manja od kose. Na osnovu iznetog, može se zaključiti da radijacione magle ne predstavljaju smetnju za let na marš-ruti ili su uglavnom, nepremostiva teškoća za sletanje (Pavlica, 1986).

Advektivne magle se obrazuju pri pojačanom vetru, najčešće pri brzinama vetra od 3 do 7 m/s. Nastaju u prizemnom sloju vlažnog toplog vazduha kada se on kreće iznad hladne površine (tipično na kopnu) ili u prizemnom sloju hladnog vazduha kada se on kreće iznad tople površine (tipično na moru). Zavisno od toga, advektivne magle se dele na advektivne magle toplog i hladnog vazduha.

Advektivne magle predstavljaju mnogo veću smetnju za letenje. Naime, poznato je da one zauzimaju velika prostranstva i da su često toliko debele da je vertikalna vidljivost sasvim mala. To ne samo da onemogućava sletanje i poletanje, već onemogućava i let na marš-ruti. Loša okolnost je što su uslovi za poletanje i sletanje istovremeno nepovoljni na većem broju aerodroma (Pavlica, 1986).

Frontalne magle javljaju se u blizini atmosferskih frontova i u većini slučajeva ne traju dugo jer se premeštaju zajedno sa njim. One su često povezane sa frontalnom oblačnošću i zonom padavina, pa predstavljaju veliku smetnju za let ispod frontalne oblačnosti.

Oblaci su vidljiva manifestacija onoga što se u atmosferi, odnosno u njenom najdonjem sloju – troposferi, dešava. Na osnovu njihovog izgleda i visine stvaranja možemo suditi o sadržaju vodene pare u njima, stabilnosti atmosfere, pa i kretanjima u njoj. Oblaci mogu da budu složena pojava za pilota kada su jako razvijeni po vertikali, kada prekrivaju velika prostranstva i kada se obrazuju na jako malim visinama.

Oblaci su skup veoma sitnih vodenih kapljica i/ili kristalića leda koji su nastali procesima kondenzacije, mržnjenja i sublimacije. Prečnici kapljica su obično oko 10 μm. Na temperaturama od 0˚C do –15˚C oblaci se najčešće sastoje od prehlađenih vodenih kapljica, ali obično sadrže i

nešto kristalića leda. Na temperaturama ispod –15˚C u oblacima preovlađuju ledeni kristalići. Magla se razlikuje od oblaka samo po tome što se stvara na Zemljinoj površini, pa u tom smislu možemo da govorimo o magli kao o oblaku na Zemlji.

Oblaci se obično klasifikuju po spoljnom izgledu i po visinama na kojima se stvaraju. Prema visinama nastanka, oblaci se svrstavaju u četiri grupe: *visoki* (iznad 6 km), *srednji* (između 2 do 6 km), *niski* (ispod 2 km) i *oblaci vertikalnog razvitka* (imaju bazu na nivou niskih a visina vrha zavisi od nivoa razvijenosti).

Prema usvojenoj klasifikaciji (WMO, 1975) oblaci su podeljeni u *deset rodova*. Rodovi su dalje podeljeni u *četrnaest vrsta*, *devet podvrsta i devet dopunskih oblika* sa oblacima pratiocima. Ta podela, zajedno sa zvaničnim skraćenicama prikazana je u tabeli 2.1 (Ćurić, 2001).

Za meteorološko obezbeđenje letenja neophodni su detaljni podaci o oblacima naročito o njihovoj visini, donjoj i gornjoj granici, vertikalnoj i horizontalnoj strukturi, postojanju slojeva oblaka i njihovoj debljini kao i o vedrinama u oblacima. Zatim podaci o uslovima letenja u oblacima, o intenzitetu turbulentnosti u njima, o mogućnostima zaleđivanja i električnih pražnjenja i takođe o vidljivosti na različitim mestima.

Tab2.1 *Klasifikacija oblaka.*

Rodovi	**Vrste**	**Podvrste**	**Dopunske odlike i oblaci pratioci**
Cirrus (Ci)	fibratus (fib)	intortus (in)	incus (inc)
Cirricumulus (Cc)	uncinus (unc)	vertebratus (ve)	mamma (mam)
Cirrostratus (Cs)	spissatus (spi)	undulatus (un)	virga (vir)
Altocumulus (Ac)	castellanus (cas)	radiatus (ra)	praecipitatio (pra)
Altostratus (As)	flocus (flo)	lacunosus (la)	arcus (arc)
Nimbostratus (Ns)	stratiformis (str)	duplicatus (du)	tuba (tub)
Stratocumulus (Sc)	nebulosus (neb)	translucidus (tr)	pileus (pil)
Stratus (St)	lenticularis (len)	perlucidus (pe)	velum (vel)
Cumulus (Cu)	fractus (fra)	opacus (op)	pannus (pan)
Cumulonimbus(Cb)	humilis (hum)		
	mediocris (med)		
	congestus (con)		
	calvus (cal)		
	capillatus (cap)		

Najveće poteškoće za let aviona javljaju se najčešće pri presecanju atmosferskih frontova, koji se po pravilu, odlikuju oblačnim sistemima velike debljine, kao i prisustvom meteoroloških pojava opasnih za vazduhoplove. Međutim, u homogenim vazdušnim masama u nizu slučajeva se obrazuju prostrane zone sa niskom oblačnošću i slabom vidljivošću, što jako otežava poletanje i sletanje aviona i let na malim visinama. U toplom delu godine u homogenim vazdušnim masama često se stvaraju *grmljavinski oblaci* praćeni pljuskovima, gradom i jakim vetrom, što letenje čini naročito opasnim.

Oblačnost i ograničena vidljivost ispoljavaju svoj veliki uticaj na navigaciju. Pri postojanju oblačnosti, avion može da leti ispod, u oblacima (između slojeva oblaka) ili iznad oblaka. Karakter letenja i uslovi navigacije različiti su u sva tri slučaja.

Letenje ispod visokih oblaka je najjednostavnije kako u odnosu na tehniku pilotiranja, tako i u odnosu na vizuelnu orijentaciju. Slično je i sa letenjem ispod srednjih oblaka, ukoliko se ono ne vrši u planinskim predelima, kada tehnika pilotiranja postaje složenija.

Pri letenju ispod niskih oblaka, naročito kada je visina oblaka 600 do 1000 m i niža, letenje je skopčano sa nizom poteškoća. Specifičnosti vizuelne orijentacije u letu na malim visinama (do 600 m iznad reljefa zemljišta) i pri velikim brzinama, ogledaju se u tome što zemaljski orijentiri pri određenim veličinama ugaone brzine, počinju munjevito da promiču i da se slivaju sa okolinom. Poznato je da je pilotovo oko u stanju da raspozna sitnije orijentire ako ugaona brzina promicanja orijentira ne prelazi 10 °/s. Ugaona brzina promicanja zemaljskih orijentira povećava se sa povećanjem brzine aviona, a smanjuje se sa povećanjem visine leta. Najveća moguća brzina pri kojoj mogu da se uočavaju sitniji orijentiri u niskom letu je 300 km/h.

Padavine u velikoj meri određuju mogućnost vizuelnog leta ispod oblaka. One pogoršavaju vidljivost i često su praćene spuštanjem oblaka. Pogoršanje vidljivosti za vreme tečnih padavina nije toliko uslovljeno smanjenjem prozračnosti atmosfere koliko stvaranjem vodene zavese na staklima kabine.

Kod velikih brzina leta čak i slaba kiša pogoršava vidljivost u letu do 2 km, dok vidljivost sa Zemlje ostaje dosta dobra. Kada pada sneg, pogoršanje vidljivosti je još veće. Zbog pogoršanja vidljivosti u letu usled padavina, vizuelno letenje mlaznih aviona nije više moguće već pri umerenoj kiši, a klipnih pri umerenom snegu i pljusku kiše.

Ako mora da se leti ispod kumulonimbusa, onda je najbolje da se leti neposredno ispod oblaka, jer je na tom nivou relativno mirnije, za razliku od vrlo jake turbulentnosti vazduha na manjim visinama i u blizini Zemljine površine.

Pri letu ispod niskih oblaka treba imati u vidu prisustvo sumaglice koja može da bude veće ili manje gustine. Da bi se isključila mogućnost sudara sa Zemaljskim preprekama pri niskoj oblačnosti i ograničenoj vidljivosti, letovi se izvršavaju na bezbednoj visini. Prilikom pripreme za let posada vrši proračun bezbedne visine po barometarskom visinometru s obzirom na reljef, visinu prepreke, po minimalnom atmosferskom pritisku u rejonu leta i tendenciju njegove promene za vreme leta. Ako je visina donje granice oblaka manja od bezbedne visine, tada se mora leteti u oblacima, između oblaka ili iznad njih.

Za let ispod oblaka, tj. za let na malim visinama i brišući let, veoma su važni podaci o pokrivenosti planinskih vrhova oblacima, kao i podaci o otkrivenosti prevoja. Ovi podaci su osnova za donošenje odluke o letenju ispod niskih oblaka u planinskim predelima.

Tehnika pilotiranja pri letenju iznad oblaka ne razlikuje se od tehnike pilotiranja pri letenju ispod oblaka. Ali je zato orijentacija znatno teža. Vizuelna orijentacija koja se primenjuje pri letenju ispod oblaka, moguća je pri letenju iznad oblaka (do visine 12 km) ako količina oblačnosti ne prelazi 4/8. Pri količini oblaka preko 5/8 letenje se vrši instrumentalno.

Letovi u oblacima su otežani zbog slabe vidljivosti, turbulentnosti, zaleđivanja i električnih pražnjenja. Pri letu u oblacima posada je lišena mogućnosti da vizuelno upravlja avionom i zato prelazi na instrumentalno letenje. Za tu svrhu avion mora da bude opremljen uređajima koji omogućavaju da se let kontroliše i bez vidljivosti Zemlje, a posada mora da bude obučena za instrumentalno letenje.

U oblacima je vidljivost smanjena na nekoliko desetina ili stotina metara. U stratusima, koji su, obično, debeli jedva nekoliko stotina metara, vidljivost je 40 do 150 m. Vidljivost u stratokumulusima iznosi 30 do 300 m i sve je manja ako oblak poprima kumulusni karakter. U kumulusnim oblacima najčešća vidljivost iznosi 10 do 80 m. Sreće se vidljivost i ispod 10 m, pri izraženoj konvekciji.

I u nimbostratusu vidljivost je stotinak metara, ali je značajna njegova debljina, zbog koje se na većem broju nivoa leti kroz oblak. Vidljivost u altokumulusu i altostratusu je 80 do 300 m.

U visokim oblacima, horizontalna vidljivost može da bude i veća od 2 km, ali je vertikalna vidljivost gotovo uvek tolika da se Zemljina površina razaznaje. Izuzetak je ako avion leti iznad visokog oblaka, pa difuzna refleksija Sunčeve svetlosti sa gornje granice oblaka to onemogućava.

Osim smanjenja vidljivosti pri letu kroz oblak, uticaj oblaka na letenje ispoljava se i na sledeće načine:

– pri letenju iznad jednog ili više slojeva oblaka, otežan je ili nemoguć vizuelni kontakt pilota sa tlom, što otežava letenje;
– letenje ispod niskih oblaka je, takođe, otežano a katkad i nemoguće, pogotovo u brdovito-planinskim predelima;
– razvijeni kumulusni oblaci (Cu cong/ Cb) predstavljaju posebnu opasnost za letenje.

Padavine znatno smanjuju vidljivost. Koliko će to smanjenje biti, zavisi od vrste i jačine padavina. Slaba kiša malo utiče na vidljivost, umerena smanjuje vidljivost na 3–10 km, a jaka na samo 50–500 m. Vidljivost u rosulji je, obično, 0,5–3 km, ali može biti i manja pri rosulji u magli. Umereni sneg smanjuje vidljivost ispod 1 km, a jak na svega 50 do 200 m. Treba naznačiti da, osim što direktno smanjuju vidljivost, padavine mogu izazvati i stvaranje niskih oblaka ili magle. Naime, one pri padanju isparavaju i povećavaju vlažnost vazduha u podoblačnom sloju. Pored toga, isparavanje hladi okolni vazduh, jer se od njega uzima toplota potrebna za taj proces. Povećanje količine vodene pare u zoni padavina i njeno hlađenje, dovešće ponekad do kondenzacije i stvaranja niskog oblaka ili magle. To će znatno pogoršati uslove za letenje. Grad predstavlja posebnu opasnost (Pavlica, 1986).

Visoki perjasti oblaci (Ci i Cc). Visoki oblaci obrazuju se ispod zadržavajućih slojeva i to pretežno kao rezultat talasnih kretanja. Na formiranje oblaka deluje i turbulencija. Zbog kristalne strukture i male vodnosti oblaka, vidljivost u njima se kreće od 100 do 2000 i više metara. Letenje vazduhoplova u ovim oblacima je dosta mirno, zaleđivanja vazduhoplova po pravilu nema, ali pri dužem letenju kroz njih moguća je elektrizacija vazduha.

Visoki perjasto-slojasti oblaci (Cs). Oblaci Cs najčešće imaju frontalnu genezu. Ovi oblaci predstavljaju samostalni oblačni sloj ne dodirujući se sa gornjom bazom visokih slojastih i slojasto-kišnih oblaka. Takođe u prednjim delovima razvijenijih ciklona, gde postoje intenzivna vertikalna vazdušna kretanja koja obuhvataju veći deo troposfere, oblaci Cs formiraju se u oblačni sistem As-Ns obrazujući po vertikali jedinstvenu oblačnu masu. Granice oblaka imaju svoj godišnji hod analogan godišnjem hodu tropopauze.

Najrazvijeniji perjasto slojasti oblaci javljaju se u umerenim geografskim širinama gde je veoma aktivna ciklonska delatnost. Vodnost u perjasto-slojastim oblacima je mala i kreće se od jednog stotog do jednog hiljaditog dela grama u m^3. Zaleđivanje aviona je moguće pri letenju sa povećanim brzinama vazduhoplova. Takođe, turbulencija kao i bacanje vazduhoplova je slabo. Samo u gustim oblacima, povezanim sa mlaznim strujama, moguće je slabo do umereno bacanje vazduhoplova. Daljina vidljivosti pri ovoj vrsti oblaka menja se od nekoliko stotina metara do nekoliko kilometara. Kod gustih Cs postoje povoljni uslovi za naelektrisanje vazduhoplova.

Srednji gomilasti oblaci (Ac). Ovi oblaci leže ispod ili iznad slojeva inverzije. Sastoje se iz vodenih kapljica a kada se formiraju na većim visinama iz ledenih kristala. Vidljivost u ovim oblacima kreće se od 80 do 100 m. Turbulencija je slaba do umerena kao i bacanje vazduhoplova. U tim slučajevima kada se Ac obrazuju u zonama mlaznih struja gde postoje značajna vertikalna smicanja vetra, turbulencija a i time bacanje vazduhoplova mogu da budu veoma značajni.

Kako se pomenuti oblaci često nalaze u području negativnih temperatura to u njima postoje uslovi za zaleđivanje vazduhoplova.

Srednji slojasti oblaci (As). I ovi oblaci su povezani sa atmosferskim frontovima. Za njih kao i za slojasto-kišne oblake glavna je odlika velika horizontalna rasprostranjenost. Ovi oblaci sastoje se iz smeša prehlađenih vodenih kapljica i kristala leda. Oblaci koji se javljaju unutar jedne vazdušne mase sastoje se samo iz kristala leda. Vodnost oblaka je mala i kreće se u desetim delovima grama u m^3. Pri dužim letovima kroz ove oblake može doći do zaleđivanja vazduhoplova. Vidljivost u As kreće se od nekoliko desetina do nekoliko stotina metara, turbulencija je slaba i letenje se odvija mirno a statičko naelektrisanje vazduhoplova je retko.

Slojasto-gomilasti oblaci (Sc). Ovi oblaci nisu pogodni za letenje zimi kada su uglavnom sastavljeni od prehlađenih kapljica tako da pri dužem letenju u njima dolazi do umerenog zaleđivanja. Vidljivost u ovim oblacima kreće se u granicama od 35 do 80 m a turbulencija je intenzivnija nego u nižim stratusnim oblacima.

Stratusni oblaci (St). Niski stratusni oblaci često se susreću pri poletanju i sletanju aviona. Ovi oblaci se, kao po nekom pravilu, obrazuju ispod slojeva inverzije kada vazduh tamo postane zasićen. Visina donje baze oblaka je obično mala kod St i Sc i iznosi oko 50 m a ponekad se ona spusti i do same Zemljine površine. Kolebanja visine ovih oblaka mogu biti znatna i na malim udaljenostima. Zbog toga su vizuelna letenja vazduhoplova u ovim oblacima veoma otežana. U planinskim predelima ovi oblaci mogu prekriti vrhove planina i time izazvati pogoršane uslove letenja vazduhoplova koji svoj let mora da obavi kroz ove oblake. Horizontalne razmere ovih oblaka zavise od sinoptičkih uslova i njihovog formiranja i iznose preko 100 a u nekim slučajevima i 1000 km.

Pri različitim visinama donje baze niskih stratusnih oblaka, njihova gornja granica, naročito u letnjem periodu, su neujednačene i raznolike. Zbog toga oblik gornje granice u određenoj meri daje mogućnost da se sudi o karakteru donje baze oblaka. Ako je gornja ivica oblaka „mirna“ i ravna, tada iznad Zemljine površine nema značajnih uzlaznih vazdušnih struja i visina donje baze nije velika. U slučaju da je gornja ivica pomenutih oblaka ispupčena i neravna naročito kada se ona probija do razvijenih gomilastih oblaka, donja baza stratusnih oblaka u većini slučajeva je veća od 300 m.

U odnosu na temperaturu vazduha, stratusni oblaci mogu biti sastavljeni od vodenih kapljica i ledenih kristala. Vodnost oblaka je mala i kreće se od stotih do desetih delova grama po m^3. Pri negativnim temperaturama, što je vodnost veća, to je pri ostalim istim uslovima veća verovatnoća za intenzivnije zaleđivanje vazduhoplova. Zaleđivanje je najintenzivnije u srednjim i gornjim delovima oblaka.

Vidljivost u stratusnim oblacima obično nije veća od 300 m, turbulencija je slaba a „bacanje“ vazduhoplova retko se događa.

Slojasto-kišni oblaci (Ns). Ovi oblaci su tipični za frontalnu oblačnost. Najmarkantnija osobenost ovih oblaka je njihova velika horizontalna rasprostranjenost naročito iznad teritorija gde postoje jaka vertikalna vazdušna strujanja koja uslovljavaju adijabatsko hlađenje vazduha.

U svojim gornjim delovima oblačni sistemi Ns sastoje se od ledenih kristala i sićušnih prehlađenih kapljica vode. Srednji i viši delovi ovih oblaka sastoje se od krupnijih kapljica vode i kristala. Zbog toga se u Ns nalaze i kišne kapi i snežne pahuljice. Vodnost oblaka iznosi od 0.6 do 1,3 g/m^3. Tako najveću opasnost za letenje u oblacima Ns predstavlja zaleđivanje. Ono se događa preko cele godine. U toku zime zaleđivanje se javlja na svim visinama a leti samo u delovima koji imaju negativnu temperaturu. Letovi vazduhoplova su naročito opasni kada se vrše u zo-

nama sa prehlađenim kapljicama vode a to se događa u jesen i proleće. Treba napomenuti i to da se pri letenju vazduhoplova kroz oblake Ns, u svim sezonama može obrazovati jaka elektrizacija vazduhoplova.

Oblaci vertikalnog razvića (Cu). Kumulusni oblaci obično se smatraju kao oblaci lepog vremena naročito u letnjim mesecima. Oni imaju donju bazu od 600 do 1200 m i vertikalnu rasprostranjenost od nekoliko stotina metara. Njihova visina i razmere su veoma promenljive u zavisnosti od širine mesta, sadržaja vlage u vazduhu, temperature i sinoptičke situacije. S obzirom da se kumulusni oblaci sastoje od vodenih kapljica, zaleđivanje aviona se u njima retko događa. To je moguće samo u jesenjem i prolećnom periodu ako u oblacima dođe do stvaranja prehlađenih vodenih kapljica. Vidljivost u ovim oblacima je mala od 30 do 45 m što uz turbulenciju letenje čini otežanim. Kumulusi ne pokrivaju celo nebo i pri letenju iznad njih piloti mogu na Zemljinoj površini razlikovati nadzemne objekte.

Veoma razvijeni kumulusi često se nalaze u zonama sa negativnim temperaturama pa se u njima javlja umereno i jako zaleđivanje vazduhoplova. Letenje kroz razvijene kumuluse je složeno usled intenzivne turbulencije i slabe vidljivosti. U njima se javljaju veoma jake uzlazne i silazne vazdušne struje čije se brzine kreću 10 do 15 m/s pa i više i koje udružene sa turbulencijom izazivaju „bacanje“ vazduhoplova. To je upravo i razlog što se letenje kroz veoma razvijene kumuluse često izbegava.

Oblaci kumulonimbusi (Cb). Ovi oblaci smatraju se najopasnijim za letenje. Visina i vertikalna rasprostranjenost ovih oblaka imaju dobro izraženi godišnji hod sa najvećim vrednostima u letnjim a najmanjim u zimskim mesecima. Ove vrednosti se povećavaju takođe od polarnih do ekvatorskih geografskih širina. Vrhovi kumulonimbusa dostižu veoma velike visine dosežući ponekad i samu tropopauzu pa čak i niže stratosferske visine. Horizontalna razvijenost najčešće iznosi nekoliko desetina kilometara. U oblacima je karakteristična pojava turbulencije. Ulazne i silazne vazdušne struje mogu imati brzine i preko 30 m/s. Najkomplikovaniji delovi ovih oblaka za letenje jesu prednji delovi jer se u njima opažaju opasni vrtlozi vazduha sa horizontalnom osom obrtanja – olujni vrtlozi. U kumulonimbusima se često javlja zaleđivanje vazduhoplova kao i električna pražnjenja.

Sve pomenute meteorološke pojave u kumulonimbusu, naročito ako su oni veoma razvijeni, predstavljaju veoma otežane uslove za letenje. Preporuke mnogih pravila i dokumenata za letenje vazduhoplova navode da kumulonimbuse treba zaobilaziti i leteti na rastojanju od njih najmanje desetak kilometara.

Prašinske i peščane oluje nastaju tako što vetar izdiže čestice sa tla i raznosi ih. Razvoj ovih oluja zavisi od: količine peska ili prašine, veličine čestica, brzine vetra i termičke stabilnosti vazduha.

Pri umerenom ili jakom vetru iznad tla prekrivenog prašinom ili peskom, dolazi do njihovog podizanja. Krupne čestice peska obično dostižu visinu od 2 do 30 m a najsitnije čestice prašine i do nekoliko kilometara (zabeležene su visine i desetak km).

Krupne čestice će se taložiti na tlo u blizini, dok najsitnije mogu prevaliti i nekoliko hiljada kilometara. Na primer, takve slučajeve potvrđuju obojene padavine. One se javljaju i u našoj zemlji, zbog prisustva saharskog peska koji nosi jak SSW vetar. Od stabilnosti vazduha zavisi do koje visine će dospeti čestice. Pri stabilnoj startifikaciji, one ostaju u prizemnom sloju dok u nestabilnoj atmosferi mogu biti uzdizane konvektivnim strujanjima na velike visine. Ove oluje nastaju, pre svega, iznad pustinje, ali ih može biti i u oblastima koje su pogođene sušom, iznad sušenih močvara i sl. One, obično imaju lokalni karakter, ali mogu zahvatiti i šire oblasti. Takvi

slučajevi su najizraženiji pri južnim vetrovima u Sahari. Ovi vetrovi, koji imaju razne lokalne nazive (hamsin, hubub, gibli, samum itd.), ponekad dostižu brzinu iznad 50 m/s i stvaraju prostrane i nekoliko kilometara debele oluje, koje prelaze i preko Sredozemnog mora. U izraženim slučajevima vidljivost je nekoliko stotina metara, ali ponekad i samo nekoliko metara. Tada je oblak peska (prašine) tako gust da se ni Sunce ne vidi. Vazduh se čisti od čestica peska i prašine gravitacionim taloženjem na tlo i spiranjem padavinama (Pavlica, 1986).

Čađ, dim i vulkanski pepeo. Na aerodromima koji se nalaze u blizini veštačkih zagađivača vazduha uočena su znatna smanjenja vidljivosti. Pod zagađivačima podrazumevamo gradske i industrijske oblasti. U njima se u vazduh izbacuje velika količina ostataka sagorevanja (dim, čađ itd) i njihovo prisustvo u vazduhu smanjuje vidljivost. Osim toga, ove čestice utiču i na stvaranje gradskih (industrijskih) magli, poznatim pod imenom vlažni smog. Da bi nastupilo značajno smanjenje vidljivosti, kao posledica sagorevanja, neophodno je da postoji temperaturna inverzija na maloj visini. Ona ima ulogu sloja koji će ove čestice zadržavati, pa će oni, tako nagomilane, stvoriti slabo proziran zastor.

U uslovima pogodnim za nastajanje zagađivanja (izražena inverzija i slab vetar) dovoljan je i samo jedan dimnjak u blizini zone prilaza na sletanje, pa da nastupi vidljivost koja će otežati sletanje. Treba naglasiti da se sloj sa lošom vidljivošću, gotovo uvek, ne nalazi neposredno nad tlom, nego na visini nešto većoj od visine dimnjaka i prostire se u obliku horizontalnog zastora male debljine.

Na izraženost ove pojave utiču i: količina dima koji se stvara, udaljenost zagađivača od aerodroma i količina dima koju vetar i turbulencija rasturaju. Nepovoljni uslovi za nastajanje ovakvog smanjenja vidljivosti su: jak vetar, turbulencija i konvekcija, koji raznose i rasturaju dim i padavine, koje čiste vazduh od ovih čestica.

U čestice koje značajno smanjaju vidljivost moramo ubrojiti i vulkanski pepeo i kosmičku prašinu. Pri jakim vulkanskim erupcijama, velika količina pepela i prašine dospeva u atmosferu i stvara oblake debele do nekoliko stotina metara. Oni se vrlo dugo mogu tamo zadržati. Kosmička prašina dospeva iz međuplanetarnog prostora i ima izvestan uticaj samo na vidljivost u stratosferi (Pavlica, 1986).

2.3 UTICAJ VIDLJIVOSTI I OBLAČNOSTI NA POLETANJE I SLETANJE

Oblačnost i vidljivost su među onim meteorološkim veličinama koje imaju najveći uticaj na letenje, a najizrazitije se ispoljavaju pri poletanju i naročito pri sletanju aviona.

Pri poletanju pilot mora jasno da uočava pistu na dovoljnom rastojanju ispred aviona. Posebno je propisano, za svaki vazduhoplov i aerodrom, kolika je vrednost te minimalne vidljivosti. Takođe, oblaci u zoni poletanja moraju biti iznad propisane vrednosti da bi se osigurala bezbednost pri poletanju.

Sletanje zahteva još detaljnije razmatranje vidljivosti i oblačnosti. Da je to tačno, ilustruju, na žalost, mnoge avionske nesreće baš u toj fazi leta. Sletanje može biti vizuelno ili instrumentalno. Vizuelno sletanje vrši se tako što pilot vidi pistu i spušta se, pod uglom 2 do 6° prema njoj. Za instrumentalno sletanje koriste se složeni elektronski sistemi.

Međutim, i pored stalnog usavršavanja elektronskih uređaja za sletanje, tačnost navođenja aviona na liniju prilaženja i mogućnost zadržavanja aviona na njoj, nisu, još uvek, toliko pouzdane da bi osigurale da se sletanje do kraja, tj. do dodira aviona sa pistom, izvede samo pomoću instrumenata. Neophodno je da u poslednjoj fazi sletanja pilot na određenoj visini vidi pistu. Pravi-

lom sletanja OS propisano je da pilot vazduhoplova mora da prekine proceduru za sletanje ako ne vidi pistu na propisanoj visini koju nazivamo minimalna visina odlučivanja. U tom slučaju, pilot vrši manevar za ponovno prilaženje sletanju (Pavlica, 1986).

2.4 METEOROLOŠKI MINIMUMI ZA POLETANJE I SLETANJE ZBOG VIDLJIVOSTI I OBLAČNOSTI

Pošto se završna faza sletanja izvodi uz vizuelni pregled piste potrebno je da meteorološki uslovi u zoni prizemljenja budu povoljni. Radi bezbednog izvršenja sletanja, propisuju se: minimalna visina baze niskih oblaka i minimalna vidljivost.

Minimalna visina baze niskih oblaka je najmanja visina na kojoj je pilotu omogućeno da jasno uoči prilaz ili samo pistu, a da, uz to, ima i dovoljno vremena da avion dovede na liniju prilaženja i bezbedno se prizemlji. Minimalna vidljivost je kosa vidljivost, duž linije prilaženja na sletanje, dovoljno velika da pilot može da uoči početak piste, te da sa instrumentalnog pređe na vizuelno sletanje i bezbedno ga izvrši.

Preko ove dve veličine definišu se meteorološki minimumi za poletanje i sletanje, zbog vidljivosti i oblačnosti. Meteorološki minimumi se propisuju za pilota, vazduhoplov i aerodrom.

Meteorološki minimum za pilota određen je minimalnom visinom baze oblaka i minimalnom vidljivošću pri kojima se pilotu dozvoljava poletanje i sletanje. Ovaj minimum menja se u zavisnosti od stepena obučenosti pilota.

Meteorološki minimum za vazduhoplov predstavljen je minimalnom visinom baze oblaka, minimalnom vidljivošću i maksimalnim brzinama prizemnog vetra za različite pravce, pri kojima se bezbedno mogu izvršiti sletanje i poletanje. Propisivanje vrednosti ovih meteoroloških veličina vrši se za svaki vazduhoplov posebno, u zavisnosti od njegovih letno-tehničkih osobina i opremljenosti odgovarajućim uređajima.

Meteorološki minimum za aerodrom dat je preko minimalne visine baze oblaka i minimalne vidljivosti pri kojima je omogućeno bezbedno poletanje i sletanje. Ove vrednosti zavise od reljefa zemljišta i veštačkih prepreka u blizini aerodroma, kao i od opremljenosti aerodroma. Ovaj minimum propisuje se za svaki aerodrom, a razlikuje se i za pojedine tipove vazduhoplova.

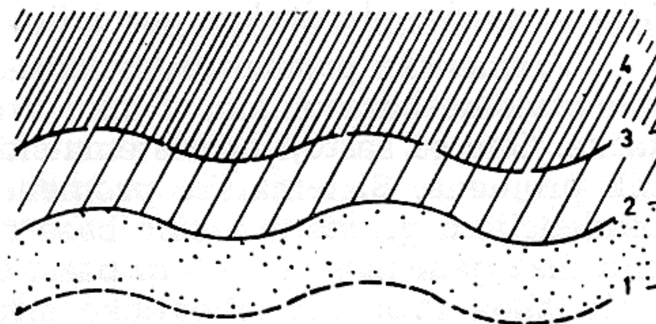
2.4.1 Baza niskih oblaka

U teoretskim razmatranjima se za visinu baze niskih oblaka uzima nivo kondenzacije, što se ne podudara sa uslovima u prirodi. Naime, potrebno je da se izvrši kondenzacija dovoljno velike količine vodene pare da bi se formirala jasno vidljiva baza oblaka. To će se dogoditi kada se vazduh u uzdizanju ohladi za koji kelvin ispod tačke rose. Baza niskih oblaka nije horizontalna ravna površina, jasno određena, na kojoj se, pri ulasku u oblak naglo smanjuje horizontalna vidljivost i gubi vizuelni kontakt sa tlom. To je samo približno tačno kod kumulusa, dok se kod stratokumulusa i, naročito, kod stratusa, baza mora sasvim drugačije opisati.

Kao što se vidi na slici 2.4, baza stratusa ima složenu strukturu. Na nivou označenim sa 1, počinje kondenzacija koja uslovljava postepeno smanjenje vidljivosti, kao i kod sumaglice. Na nekoliko desetina metara iznad ovog nivoa nalazi se baza oblaka. Sloj između njih, iz navedenog razloga, zove se sloj podoblačne sumaglice. Ni na visini baze oblaka ne dolazi do naglog smanje-

nja vidljivosti već se to dešava postepeno, u takozvanom prelaznom sloju. Tek iznad njega nalazi se gusti deo oblaka, sa malom vidljivošću. Sloj između 1 i 3, koji obuhvata sloj sumaglice i prelazno sloj, zove se podoblačni sloj. On je kod stratusa debeo, u proseku, 100–150, a ponekad dostiže 200 m.

Njegova gustina, a samim tim i vidljivost u njemu, znatno se menjaju u toku vremena. To znači da sve ove nivoe i slojeve nije lako uočiti, kao i to da nisu stacionarni. Zato je kolebanje visine baze oblaka složeno i može dostići relativno velike vrednosti za kratko vreme. Neujednačenosti i promenljivosti baze oblaka doprinosi i činjenica da ona nije ravna (tj. nepromenljiva u prostoru), nego ima izgled talasa (kao na slici 2.4) koji se premeštaju.



Sl. 2.4 Šema strukture baze stratusa: 1) nivo kondenzacije; 2) baza oblaka; 3) vrh podoblačnog sloja; 4) gusti sloj oblaka; 1-2 sloj sumaglice; 2-3 prelazni sloj; 1-3 podoblačni sloj.

Sve navedene pojave slične su i kod nimbostratusa. Kod stratokumulusa se sve ovo javlja na sličan način, s tim što je podoblačni sloj slabije izražen i ima debljinu, u proseku, do oko 50 m (Pavlica, 1986).

3. ZALEĐIVANJE

Kada se leti kroz oblake ili kišu u temperaturama blizu ili ispod 0 ˚C, treba očekivati zaleđivanje vazduhoplova. Čak i kada je vazduhoplov dobro opremljen uređajima za zaštitu od zaleđivanja, njegova odbrana je samo delimična, jer je zaleđivanje vazduhoplova vrlo podmukla pojava. Događa se da i kada veoma pažljivo osmotrimo i odaberemo okolinu za let bez zaleđivanja, ono iznenada može postati faktor i pretnja bezbednosti leta.

Prema opštoj definiciji, zaleđivanje je proces formiranja naslaga (nagomilavanja) leda na nekom objektu. Kada se formira led na vazduhoplovu on degradira performanse vazduhoplova na mnogo načina. Od nagomilanog leda se aerodinamični oblici podižućih površina krive, čime se težina i čeoni otpor vazduhoplova povećavaju, a sila uzgona opada. Zaleđivanje na elisama smanjuje potisak, a led u karburatoru i ulazima vazduha smanjuje snagu motora. Takođe, sve ovo utiče da se minimalna brzina povećava. Komandne površine i stajni trap mogu postati neupotrebljivi, ako se ne spreči njihovo jako zaleđivanje.

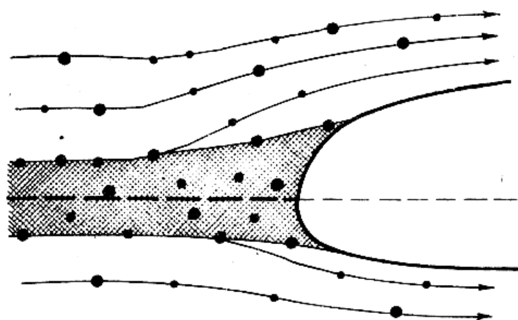
Nejednaki raspored leda na elisi može stvoriti štetne vibracije. U mlaznim vazduhoplovima grumen slomljenog leda može biti usisan u motor, stvarajući pri tome oštećenja na lopaticama kompresora. Zaleđivanje pitostatičkog sistema dovodi do grešaka u pokazivanju instrumenata za horizontalnu i vertikalnu brzinu vazduhoplova, kao i za njegovu visinu. Zaleđivanje radio antena stvara nepovoljne efekte u radio komunikaciji, a led na vetrobranima smanjuje vidljivost. Zaleđivanje stvara nepovoljne efekte čak i na operacije na tlu jer led ili sneg na pisti dovode do poteškoća u kočenju.

Mogućnost zaleđivanja u atmosferi određuju četiri meteorološka činioca: temperatura vazduha, sadržina prehlađene vode u vazduhu, sadržina ledenih kristala u vazduhu i veličina kapljica i kristala. Da bi došlo do zaleđivanja, potrebno je da temperatura vazduha bude negativna. Spoljašnje zaleđivanje vazduhoplova se uopšte ne javlja pri pozitivnim temperaturama, a do njega najčešće dolazi pri temperaturama između 0 ˚C i –10 ˚C

Postojanje prehlađenih kapljica vode u vazduhu, jeste osnovni uslov za pojavu zaleđivanja. To stoga što do zaleđivanja vazduhoplova u letu dolazi zbog sudaranja napadnih ivica vazduhoplova sa prehlađenim kapljicama u oblaku ili sa ledenom kišom, pri čemu se one zamrzavaju. Samo u veoma malom broju slučajeva, može doći do zaleđivanja bez njihovog prisustva. Na primer, kada je površina aviona hladnija od okolnog vazduha sa visokom relativnom vlažnošću, stvaranje tanke ledene naslage nastaje sublimacijom vodene pare. Takav način zaleđivanja ne samo da se retko javlja, nego su i efekti mnogo slabiji.

Količina vode u jedinici zapremina vazduha (vodnost) bitno utiče na pojavu zaleđivanja. Što je vodnost veća, to će i zaleđivanje biti jače.

I sadržina ledenih kristala značajna je za pojavu zaleđivanja. Pri istovremenom postojanju prehlađenih kapi i ledenih kristala u oblaku dolazi do rasta ledenih kristala na račun kapljica. Kapi isparavaju i vodena para se sublimacijom taloži na ledene kristale koji se povećavaju i padaju iz oblaka. Rezultat ovog procesa je smanjivanje količine prehlađene vode, pa bi i zaleđivanje aviona u takvim uslovima bilo znatno slabije (Findajzen–Beržeranov mehanizam).



Sl. 3.1 Sudaranje kapi sa krilom aviona

Oblik i intenzitet zaleđivanja najviše zavise od veličine prehlađenih vodenih kapljica. Neka avion leti kroz vazduh koji sadrži prehlađene kapi različite veličine, što se redovno dešava pri letu kroz oblak, maglu, kišu i rosulju, kada imaju negativne temperature. Kretanje vazdušnih čestica oko aeroprofila, predstavljeno je strujnicama. Na dovoljnoj udaljenosti ispred aeroprofila vazdušna struja je neporemećena i strujne linije su međusobno paralelne (sl. 3.1). Duž njih kreću se i sve kapljice prehlađene vode. Ispred aeroprofila strujnice se deformišu i prate njegov oblik. Na svaku od kapljica tada deluju dve sile: sila vazdušne struje koja teži da zadrži kap na strujnoj liniji i da tako obiđe oko aeroprofila, kao i sila inercije koja teži da kap zadrži dotadašnji pravac i brzinu kretanja, i tako se sudari sa profilom. Prva sila zavisi od površine kapi (tj. od kvadrata poluprečnika), a druga od mase kapi (tj. od kuba poluprečnika), pa kod manjih kapi preovlađuje prva, a kod većih druga sila. Drugim rečima, sitnije kapi će se zajedno sa vazdušnim česticama kretati duž strujnica i obilaziće aeroprofil, dok će se krupnije kapi izdvajati iz vazdušne struje i sudariti sa njim. Posle sudara te kapi će se, brže ili sporije, zalediti i stvoriće ledenu oblogu na nekim delovima aviona. Ispitivanjima je utvrđeno da se sa površinom aviona sudari, u proseku 10–20 % svih kapi koje mu dolaze u susret (Pavlica, 1986).

3.1 OBLICI ZALEĐIVANJA

Postoje tri važna tipa zaleđivanja u vazduhoplovstvu: *strukturno zaleđivanje, induktivno zaleđivanje i inje i slana na vazduhoplovu.*

Strukturno zaleđivanje se odnosi na formiranje leda na spoljnjim delovima vazduhoplova. Ovo uključuje led na krilnim i repnim površinama, elisi, radio antenama, vetrobranu, pito cevi i stajnom trapu. Glavni negativan efekat strukturnog zaleđivanja leži u zamrzavanju vodenih kapi na oplati letelice prilikom njenog prolaska kroz oblak. Da bi se to desilo letelica na oplati mora imati temperaturu ispod 0 ˚C, a oblak kroz koji se leti mora sadržati prehlađene vodene kapi. Pod opisanim uslovima kapi se zamrznu kada udare u letelicu. Ova vrsta zaleđivanja se ne dešava u obliku sastavljenim samo od ledenih kristala (Gavrilov, 2001).

U zavisnosti od uslova u kojima se vrši, zaleđivanje se javlja u više oblika. Nije ih uvek lako razlikovati, a na avionu često postoje dva ili više oblika istovremeno. Ipak, mogu se izdvojiti tri osnovna oblika: led (proziran, mutan ili beo), slana i inje.

Proziran led (čist led) je, kako mu ime kaže, providan sloj kompaktne strukture, uglačan i sjajan. Obrazuje se onda kada proces zamrzavanja prehlađenih kapi teče sporo, a to se dešava u

oblacima koji su sastavljeni samo od vodenih kapi većih razmera ili u prehlađenoj kiši, ispod oblaka. Kada se krupna prehlađena kap sudari sa avionom, počinje njeno zamrzavanje. Međutim, pošto je latentna toplota, koja se oslobađa pri mržnjenju vode dosta velika, to je smrzavanje samo jednog dela ovakve kapi praćeno oslobađanjem latentne toplote koja je u stanju da čitavu kap zagreje do 0 ˚C. Zato se krupna kap ne smrzava odmah, nego se razliva pod uticajem vazdušne struje po površini aviona. Zamrzavanje se vrši postepeno, jer je potrebno izvesno vreme da se oslobođena latentna toplota utroši. Temperatura vazduha pri kojoj se ovakvo zaleđivanje dešava, uglavnom je između 0˚ i –10 ˚C. Pri nižim temperaturama ono je dosta retko, jer se krupne prehlađene kapi u atmosferi nalaze uglavnom na temperaturama koje nisu niže od –20 ˚C. Rezultat čitavog ovog procesa jeste prozirna, sjajna i glatka, ravnomerno raspoređena ledena obloga. Ona, u početku, prati oblik površine aviona. Ali kada naslage leda i dalje rastu, njegova površina postaje neravna i značajno kvari profil nosećih površina aviona. Ovaj oblik zaleđivanja vrlo je opasan, jer se aerodinamičke osobine aviona menjaju. Osim toga, ovakav led, zbog velike gustine, može znatno da optereti avion, što je naročito opasno kada, zbog neravnomerne opterećenosti krila dođe do vibracija.

Mutan (poluproziran, injast) led stvara se pri letu kroz oblake koji sadrže kapi prehlađene vode i ledene kristale. Krupne kapi se, slično kao pri stvaranju prozirnog leda, razlivaju po površini aviona i postepeno zamrzavaju. Na tako vlažnu podlogu, u predeo napadnih ivica, nailaze ledeni kristali, koji se lepe na nju, i sitne prehlađene kapi koje se odmah zamrzavaju. Tako se stvara mutna i hrapava ledena obloga, mešavina zamrznutih kapi i kristala leda. Ona ima nepravilan oblik, ispupčen u pravcu kretanja, odakle vazdušna struja donosi kapi i kristale. Zbog oblika naslage, koji može da bude vrlo nepravilan, mnogo se narušavaju aerodinamičke osobine aviona, pa se takvo zaleđivanje smatra najopasnijim.

Beo (krupast) led stvara se pri letu kroz oblake sastavljene samo od sitnih prehlađenih kapljica, pri temperaturama ispod –10 ˚C. Sitne prehlađene kapljice se trenutno zamrzavaju, obrazujući ispupčeni poluloptasti oblik. Tako se obrazuje porozna ledena naslaga u kojoj se, između zamrznutih kapljica, nalaze mehurići vazduha koji joj daju belu boju. Takav led slabije prijanja za površinu vazduhoplova i često zbog vibracija otpada. Jedino pri dužem letenju u ovim uslovima zaleđivanja postoji opasnost da količina leda postane velika i da dođe do narušavanja aerodinamičkih osobina aviona.

Strukturno zaleđivanje se javlja u pilotskim izveštajima saglasno vrsti leda i intenzitetu zaleđivanja. Intenzitet zaleđivanja se određuje prema jačini nagomilavanja leda, efikasnosti postojećih uređaja za zaštitu od zaleđivanja i prema vrsti akcije koju pilot mora da preduzme u borbi protiv nagomilavanja leda. Uređaji za zaštitu od zaleđivanja se dele na uređaj za odleđivanje koji uklanja led posle njegovog formiranja i uređaj za sprečavanje zaleđivanja koji deluje preventivno na formiranje leda.

Za ilustraciju intenziteta zaleđivanja vazduhoplova izabrana je veličina koja pokazuje kolika je debljina leda koja se taloži na napadnim ivicama aviona u jedinici vremena. Izražava se u milimetrima na minut (mm/min). Intenzitet zaleđivanja zavisi od većeg broja meteoroloških i aerodinamičkih činioca, kao što su: vodnost oblaka, veličina kapi i ledenih kristala, gustina naslage leda, brzina aviona kroz vazduh, ugla pod kojim prehlađene kapljice udaraju u profil i dr.

Po intenzitetu zaleđivanje može da bude:

1. Zaleđivanje u tragovima, kada led tek počinje da se vidi. Količina nagomilanog leda se nešto slabije povećava nego što su gubici zbog sublimacije. Sem ukoliko susret sa ova-

kvom vrstom zaleđivanja ne traje jedan sat ili više, ne zahteva se upotreba uređaja za zaštitu od zaleđivanja i/ili promena kursa i/ili visine leta.

2. Slabo zaleđivanje, kada količina nagomilanog leda može stvoriti problem ako se pod ovakvim uslovima leti jedan sat. Brzina taloženja leda na površini ne prelazi 0,5 mm/min. Zahteva se povremena upotreba uređaja za zaštitu od zaleđivanja i/ili promena kursa i/ili visine leta.
3. Umereno zaleđivanje, kada je jačina nagomilavanja takva da i kraći let pod ovakvim uslovima stvara potencijalnu i/ili stvarnu opasnost. Brzina taloženja leda je od 0,6 do 1 mm/min. Zahteva se upotreba uređaja za zaštitu od zaleđivanja i/ili promena kursa i/ili visine leta.
4. Jako zaleđivanje, kada je jačina nagomilavanja takva da upotreba uređaja za zaštitu od zaleđivanja neće biti dovoljna da smanji ili stavi pod kontrolu opasnost. Brzina taloženja leda veća je od 1 mm/min. Tada se smesta zahteva promena kursa i/ili visine leta.

Intenzitet zaleđivanja u najvećoj meri zavisi od tri činioca: vodnosti oblaka, vazdušne brzine aviona i ugla pod kojim se prehlađene kapljice sudaraju sa profilom.

Let kroz zonu zaleđivanja u kojoj je vodnost oblaka dva puta veća nego u nekoj drugoj zoni, i pod pretpostavkom da su prehlađene kapljice iste veličine u obe zone, biće praćen dva puta intenzivnijim zaleđivanjem.

Zavisnost intenziteta zaleđivanja od vazdušne brzine aviona je dosta složena. Za manje vazdušne brzine aviona to nije slučaj. Povećanjem brzine povećava se i intenzitet zaleđivanja. Objašnjenje za to je naizgled jednostavno: ako se avion kreće većom brzinom, on se za isto vreme, susretne sa većim brojem prehlađenih kapljica, pa je zaleđivanje jače. To i jeste tako, ali samo pri porastu brzine aviona do određene granice. Izvan te granice u obzir se mora uzimati kinetičko zagrevanje površina, naročito napadnih ivica aviona pri većim brzinama leta.

Da bi se proverio uticaj brzine aviona na intenzitet zaleđivanja, vršena su specijalna merenja na transportnim avionima koja su dala sledeće rezultate: kada je brzina aviona bila 200 km/h intenzitet zaleđivanja je iznosio 0,4 do 0,9 mm/min, a pri 500 km/h čak 3 do 5 mm/min.

Od ugla pod kojim se prehlađene kapi sudaraju sa profilom zavisi debljina naslage leda na pojedinom delu profila. Najdeblja naslaga leda, po pravilu, obrazovaće se na napadnoj ivici krila na onom delu na kojem se sudaranje prehlađenih kapljica vrši pod uglom bliskim 90˚. Smanjivanjem ugla sudaranja debljina naslage leda biće sve manja (Lovrić, 1988).

Uzimajući u obzir izložene faktore, intenzitet zaleđivanja može da se izrazi sledećom formulom:

$$I = c\, \delta\, V \sin \sigma,$$

gde je:

- I – intenzitet zaleđivanja (težina nataloženog leda na jedinicu površine u jedinici vremena);
- δ – vodnost oblaka (g/m^3);
- V – stvarna brzina aviona;
- σ – ugao susreta kapljice sa različitim delovima aviona (ugao između vektora brzine kapljice u trenutku sudara sa avionom i dirkom ravni u tački sudara sa avionom)
- c – neka konstanta koja se određuje eksperimentalnim putem, različita je za razne tipove aviona i zavisi od veličine kapljica

Induktivno zaleđivanje deluje na pogonske grupe. To uključuje zaleđivanje karburatora i zaleđivanje na vazdušnim usisnicima.

Zaleđivanje karburatora je proces formiranja leda u i oko karburatora. Do ove vrste zaleđivanja dolazi usled uvlačenja dovoljne količine vlažnog vazduha u karburator. Pored toga, temperatura karburatora mora biti ispod 0 ˚C, ali i manja od temperature tačke rose u vazduhu. Do hlađenja dolazi adijabatskim širenjem vazduha u karburatoru i isparavanjem goriva. Zaleđivanje karburatora može delimično ili potpuno da zaustavi struju smeše vazduh/gorivo. Pri tome može stvoriti kompletnu havariju motora. U ovakvom slučaju problem se dodatno uvećava značajnim hlađenjem karburatora usled isparavanja goriva. Na primer, adijabatsko širenje vazduha i isparavanje goriva mogu da smanje temperaturu karburatora za 20 ˚C ili više. Tada, zaleđivanje može da se dogodi i kada je spoljna temperatura daleko iznad 0 ˚C. Ovo može pilota navesti na pogrešnu dijagnozu problema. Na primer, on može da ne razume problem zaleđivanja, pošto leti u okolini čija je temperatura daleko iznad 0 ˚C. Međutim uz pretpostavku da pilot ima znanja o ovim problemima i minimalno iskustvo, zaštitu mora potražiti u upotrebi uređaja za zagrevanje karburatora, kao glavnog sredstva zaštite.

Zaleđivanje na vazdušnim usisnicima je glavno štetno delovanje induktivnog zaleđivanja. Tada dolazi do gubitka snage vazduhoplova, zbog delimičnog i/ili potpunog zaustavljanja vazduha pre nego što dospe do motora. Pod datim meteorološkim uslovima, led se mnogo pogodnije razvija na ulazima vazduha nego na nekim drugim mestima.

Inje i slana su bele pojave perjastog izgleda i ukazuju na led kristalne strukture. Formiraju se na letelici na isti način kao što se formiraju i na drugim objektima. Ovako formiran led predstavlja opasnu meteorološku pojavu jer narušava performanse aviona.

Slana je specifičan oblik zaleđivanja. Za sve ostale oblike zaleđivanja neophodno je, između ostalog, prisustvo prehlađenih kapi vode, tj. da se let vrši u prehlađenom oblaku, magli, kiši ili rosulji. Kada je u pitanju slana, to nije slučaj, ona se stvara u čistom vazduhu. Takav oblik zaleđivanja nastaje na isti način kao i slana na površini Zemlje. Neophodno je da površina aviona ima negativnu temperaturu i da se nalazi u nešto toplijem vazduhu sa visokom relativnom vlažnošću. Tada nastaje hlađenje u vazduhu koji je u neposrednom dodiru sa hladnom površinom, relativna vlažnost se povećava do zasićenja te tako nastaje sublimacija. Na taj način stvara se tanka naslaga belih i sitnih ledenih kristala na površini aviona. Slana može da se obrazuje kada avion, koji je leteo na visinama gde su temperature negativne, brzo pređe u topliji i vlažniji vazduh. To se najčešće dešava pri izraženoj inverziji, kada se temperatura sa malom promenom visine znatno promeni. Slana se formira i na avionu koji se nalazi na aerodromu. To se dešava u tihim i vedrim zimskim noćima kada se temperatura spusti ispod nule, a relativna vlažnost je visoka. Površina aviona tada izračuje toplotu i hladi se, pa na njoj dolazi do stvaranja slane. Ona se pre poletanja mora skinuti sa površine aviona, jer otežava opstrujavanje i dostizanje brzine uzletanja. Sem toga, avion prekriven slanom lakše će se zaleđivati u toku leta. Slana nije opasan oblik zaleđivanja, jer se lako stresa pri slabim vibracijama, a i sama otpadne kada se temperatura površine aviona izjednači sa temperaturom okolnog vazduha.

Inje se stvara pri letu kroz oblake sastavljene od vrlo sitnih kapljica i ledenih kristala, pri temperaturama znatno nižim od –10 ˚C. Pri sudaru sa površinom aviona, sitne kapljice se skoro trenutno zamrzavaju, a na njih se prilepljuju i ledeni kristali. Inje može da se obrazuje na avionu koji stoji. To se dešava u prehlađenoj magli. Tada naslage inja rastu na delovima aviona koji su izloženi vetru. Inje stvara neravnu oblogu koja slabo prijanja za površinu aviona, pa lako nestaje i pri malim vibracijama. Samo pri dugotrajnom zaleđivanju, kada postane debela, naslaga može

da predstavlja opasnost, jer, takođe, utiče na aerodinamičke osobine aviona. Inače, ovaj oblik zaleđivanja je po pravilu bezopasan.

Glavna opasnost od inja i slane na vazduhoplovu su hrapavi slojevi datog leda na spoljnjim površinama vazduhoplova. Mada to ne izgleda kao velika pretnja, specijalno u poređenju sa obimnim čistim ledom, dodatak tankog prekrivajućeg sloja inja i slane usporava vazdušne struje koje obezbeđuju uzgon. Tokom poletnog rulanja, rasprostranjeno inje i slana mogu stvoriti poteškoće, pa čak i onemogućiti poletanje. Jako inje i slana na vazduhoplovu mogu povećati minimalnu brzinu za više od 5% do 10%. Vazduhoplov koji nosi naslage inja i slane posebno je ranjiv na nižim nivoima leta, gde se oseća uticaj turbulencije i smicanja vetra, specijalno pri malim brzinama i u zaokretima. Zbog toga, treba zapamtiti jednostavno pravilo da pre poletanja obavezno treba ukloniti inje i slanu sa svih površina vazduhoplova.

3.2 METEOROLOŠKI USLOVI ZALEĐIVANJA AVIONA

Okolinu zaleđivanja čine određeni opšti uslovi vremena i neke atmosferske cirkulacije u kojima se dešava strukturno zaleđivanje. Te uslove stvaraju, redom: temperatura, tipovi oblaka, padavine, frontovi i orografski efekti.

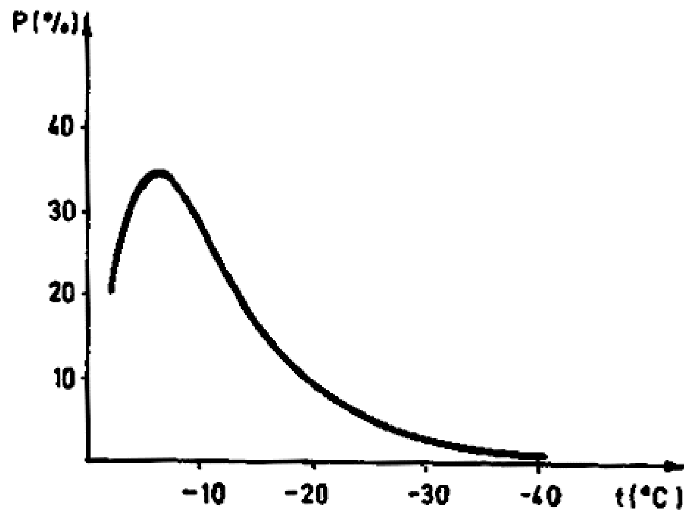
Temperatura. Kad god se leti u oblacima čija je temperatura 0 ˚C ili manje, moguće je zaleđivanje. U oblaku se nalaze prehlađene vodene kapi na temperaturama do oko –40 ˚C. Tako, u intervalu između 0 ˚C i –40 ˚C definisane su granice zaleđivanja, pri čemu se zaleđivanje smanjuje opadanjem temperature. Zaleđivanje nije velika opasnost na temperaturama ispod –20 ˚C, izuzimajući unutar oblaka tipa Cumulonimbus. U intervalu između 0 ˚C i –20 ˚C, postoje tri temperaturna opsega zaleđivanja. Ovi opsezi, pored toga što određuju vrste leda, mogu da posluže i za definisanje vrste strukturnog zaleđivanja, saglasno vrsti leda, što je prikazano u tabeli 3.1.

Tab. 3.1 *Opsezi zaleđivanja.*

Temperaturni opseg	Vrsta leda	Vrsta zaleđivanja
Od 0°C do –10°C	Čist led	Čisto zaleđivanje
Od –10°C do –15°C	Mešani led	Mešano zaleđivanje
Od –15°C do –20°C	Injasti led	Injasto zaleđivanje

Kao primer mogu se navesti dugogodišnja istraživanja uslova koji dovode do zaleđivanja. Temperatura oblaka jedan je od najvažnijih činilaca, jer ona, u velikoj meri, određuje i ostale uslove, pre svega, vodnost oblaka i veličinu kapi u njemu.

Na osnovu istraživanja u Rusiji, osamdesetih godina prošlog veka, nađena je verovatnoća pojave zaleđivanja pri letu kroz oblake sa različitim temperaturama. To je grafički prikazano na slici 3.2.



Sl. 3.2 Verovatnoća pojavljivanja zaleđivanja aviona u zavisnosti od temperature okolnog vazduha.

Do zaleđivanja obično dolazi pri temperaturi između –25 ˚C i 0 ˚C. Između –40 ˚C i –25 ˚C verovatnoća pojave zaleđivanja je mala, a na temperaturama nižim od ovih neznatna. Veoma je izražen maksimum između –10 ˚C i –5 ˚C. Grafik je sačinjen na osnovu podataka o zaleđivanju na avionima koji su leteli kroz oblake sa negativnom temperaturom. Uzeto je u obzir samo da li je zaleđivanje bilo ili ne, bez obzira na njegovu jačinu. Ovakva raspodela verovatnoće pojave zaleđivanja, posledica je, pre svega, ponašanja prehlađene vode. Ukratko, sa opadanjem temperature, u oblacima je sve manje vodenih kapi, jer se one spontano zamrzavaju. To se, najpre, pri temperaturama između –10 ˚C i –20 ˚C, dešava sa krupnijim kapima, koje su i najznačajnije za pojavu zaleđivanja, pa je tu pad verovatnoće najveći. Pošto prehlađene vode ima sve do temperature –41 ˚C i zaleđivanje bi trebalo dotle da se pojavljuje. Retki slučajevi zaleđivanja na temperaturama nižim od ove, pripisuju se sublimaciji vodene pare ili lepljenju ledenih kristala za površinu aviona. Pad verovatnoće od maksimuma prema 0 ˚C, nastaje zbog toga što je pri tim temperaturama latentna toplota mržnjenja dovoljna da izvestan deo vode zagreje iznad nule i tako smanji mogućnost zaleđivanja (Lovrić, 1988).

Oblaci. Velika količina prehlađenih oblačnih kapi i njihove velike dimenzije čine veliki potencijal zaleđivanja. U oblacima su kapi veće na mestima gde je veće vertikalno kretanje i gde je temperatura neposredno ispod 0 ˚C. Pod navedenim uslovima kapi koje udaraju u vazduhoplov zamrzavaju se mnogo sporije. Time je dozvoljeno da se nezamrznuti ostaci kapi vrate u vazduh, vođeni ivicama vazduhoplova. Ovo objašnjava tendenciju stvaranja čistog leda u temperaturnom opsegu od 0 ˚C do –10 ˚C.

S obzirom na to da među raznorodnim oblacima postoje razlike u načinu nastanka, temperaturi, vodnosti, veličini kapi i ledenih kristala, vazdušnim strujama u oblaku i dr., u vezi sa zaleđivanjem biće i velikih razlika.

Oblaci vertikalnog razvoja imaju veoma izraženu konvektivnu strukturu i jaka vertikalna kretanja, pa je i postupak stvaranja čistog leda u njima značajno izražen. Oblaci tipa Cu i Cb imaju ćelijsku prirodu i dominantan vertikalni razvoj. Zbog toga su opasnosti od zaleđivanja u ovim oblacima horizontalno ograničene, ali zato imaju veliko vertikalno prostiranje. Zaleđivanje može biti intenzivno u gornjoj polovini oblaka Cb, barem do nivoa na kome temperatura padne

ispod –20 ˚C. Kao što se može očekivati, čisto zaleđivanje je često moguće i u nižim delovima zone zaleđivanja. Međutim bili su izveštavani i slučajevi zaleđivanja u oblaku tipa Cb na temperaturama daleko ispod –40 ˚C. Najrazvijeniji oblaci, Cu cong i Cb, imaju najjače zaleđivanje. Zahvaljujući jakim konvektivnim kretanjima, u njima postoji visok sadržaj vode, sa krupnim vodenim kapima. To je naročito izraženo na temperaturama iznad –23 ˚C. Ali i pri nižim temperaturama, sve do –40 ˚C zaleđivanje može biti jako. Horizontalne dimenzije konvektivnih oblaka su takve da zaleđivanje obično traje do minut. Opasnost je, ipak, tolika da avioni ne smeju ulaziti u C-b. Zbog svega navedenog, oblake vertikalnog razvoja treba izbegavati kad god je to moguće.

Slojasti oblaci imaju manje kapi, tako da u njima postoji tendencija uspostavljanja injastog i mešanog leda. Obrnuto od oblaka vertikalnog razvoja, vertikalne granice slojeva zaleđivanja u slojastim oblacima su obično samo 600 do 1000 m debljine i retko se nalaze više od 1500 m iznad nivoa zaleđivanja. Međutim, oblasti zaleđivanja u slojastim oblacima mogu imati mnogo šire horizontalno prostiranje nego što je to kod oblaka vertikalnog razvoja. U slojastim oblacima se šanse za zaleđivanjem mogu smanjiti promenom visine letenja na nivoe gde je temperatura iznad 0 ˚C ili gde je temperatura manja od –10 ˚C.

Ac je sastavljen od sitnih kapljica vode, a samo pri niskim temperaturama sadrži i ledene kristale. Obično se u njemu javlja slabo zaleđivanje. Samo u podvrsti kastelanus, kada je deblji od 600 m, može da dođe do jačeg zaleđivanja.

As sadrži vodene kapi, kristale leda i snežne pahuljice. Zaleđivanje se često javlja, ali je slabo. Međutim, zbog velikog horizontalnog prostiranja As, naslage leda mogu dostići opasne razmere, ako ga avion ne napusti promenom visine.

St je u proseku najniži oblak. Obično se javlja ispod inverzije, a sastavljen je od sitnih kapi, vrlo retko i od ledenih kristala. Zaleđivanje se često javlja, ali je slabo a ponekad i umereno.

Sc ima iste osobine kao St, ali je u njemu zaleđivanje češće i jače.

Zbog svoje velike debljine (2–3, ponekad i preko 5 km), Ns ima delove sa različitim sastavom i osobinama. Donji deo oblaka, do visine izoterme –12 ˚C, sastavljen je od vodenih kapi. U gornjem je mešavina vode i ledenih kristala, pa se u njemu odvija Beržeranov proces, koji dovodi do stvaranja padavina i smanjenja vodnosti oblaka. Zbog toga u gornjem delu oblaka dolazi, uglavnom, do slabijeg zaleđivanja, dok u donjem zaleđivanje može biti umereno, pa i jako.

Visoki oblaci obično nisu mesta opasnog zaleđivanja. Ci, Cc i Cs su oblaci sastavljeni od ledenih kristala, pa se u njima zaleđivanje retko javlja i to uvek slabog intenziteta. Pri velikim brzinama aviona, kinetičko zagrevanje njegove površine može da bude toliko da se napadna ivica krila zagreje iznad 0 ˚C (npr. pri temperaturi od –40 ˚C, to će se postići brzinom od oko 1100 km/h). Tada se može desiti da se ledeni kristali, koji naiđu na napadnu ivicu krila, delimično ili potpuno istope i stvore tanku naslagu leda ili snega. I kada je temperatura površine aviona negativna, može se desiti da se kinetička energija delića leda pretvori u toliku količinu toplote koja će otopiti jedan njegov deo i vezati ga za avion. Do zaleđivanja dolazi samo na napadnoj ivici, jer se od drugih delova površine ledeni kristali odbijaju. U nekim slučajevima zaleđivanje se može naći u oblaku oblika nakovnja, produženom delu grmljavinske nepogode. Povremeno zaleđivanje se može dogoditi kada postoje jake konvektivne struje koje nose prehlađene kapi do vrhova oblaka ignorišući pri tome vrlo niske temperature.

Na osnovu svega navedenog trebalo bi zapamtiti da se čist led može sresti bilo gde na visinama iznad nivoa zaleđivanja. Najjače nagomilavanje čistog leda je obično na temperaturama od 0 ˚C do –15 ˚C.

Zaleđivanje u oblacima unutar vazdušne mase. Za stabilne tople vazdušne mase karakteristični su oblaci St i Sc i magle, a za hladne nestabilne vazdušne mase oblaci vertikalnog razvitka Cu i Cb.

Ako is St i Sc ne padaju padavine, onda je u njihovom donjem delu moguće slabo zaleđivanje, a u gornjem, tj. neposredno blizu inverzije, i umereno. To se objašnjava povećanjem vodnosti oblaka i veličine prehlađenih kapi od donje granice oblaka prema gornjoj.

Kada iz St i Sc padaju slabe padavine u obliku sipeće kiše ili slabog snega, onda je najverovatnije da će avion naići na umereno zaleđivanje po celoj debljini oblaka, jer se u tom slučaju malo menja vodnost oblaka i veličina kapi sa visinom.

Čestina zaleđivanja u St i Sc je velika i iznosi od 70 do 75%. Zato je najbolje da se leti iznad St i Sc. To je olakšano jer je njihova debljina mala, a takođe i visina njihove gornje granice.

U jače razvijenim Cu, a naročito Cb obično se nailazi na jako zaleđivanje. Pri tome, povećanjem visine leta intenzitet se, obično, ne smanjuje dok god je temperatura oko –23 ˚C. Pa čak i u tim uslovima zaleđivanje može da bude jako. Rizik nije zanemarljiv sve dok temperatura ne opadne na –40 ˚C.

Jaki Cu i Cb unutar vazdušne mase imaju manje razmere, a vrlo često su izolovani i tada ih je lako obilaziti. Međutim ponekad su spojeni (kao na liniji nestabilnosti), pa ih je teže zaobići (Čobanov, 1992).

Zaleđivanje u frontalnim oblacima. Karakteristična osobina oblaka toplog fronta, za razliku od Sc i St, jeste u tome što je najveća vodnost u oblacima toplog fronta u donjim slojevima.

Verovatnoća zaleđivanja u letu u oblacima iz kojih padaju padavine nešto je manja nego u oblacima bez padavina. To je zbog toga što vodnost oblaka iz kojih duže vreme padaju padavine može da bude mala i zaleđivanje će biti slabo ili ga uopšte neće ni biti međutim, u oblacima iz kojih ne padaju padavine, vodnost može da bude velika i zaleđivanje u prehlađenim Ns je 55% a u As od 20 do 35%.

Padavine. U zoni padavina zaleđivanje je ređe nego u prehlađenim oblacima, ali je ono u prehlađenoj kiši ili izmaglici vrlo opasno. Brzina taloženja ledene naslage na napadnim ivicama aviona može da dostigne 1 mm/min i više. Vertikalna razvijenost hladnog vazduha u kojem dolazi do prehlađivanja kišnih kapi u toku padanja, obično ne prelazi 1000 m. Prema tome, manjom promenom visine leta naviše, let se može nastaviti u sloju vazduha sa pozitivnim temperaturama.

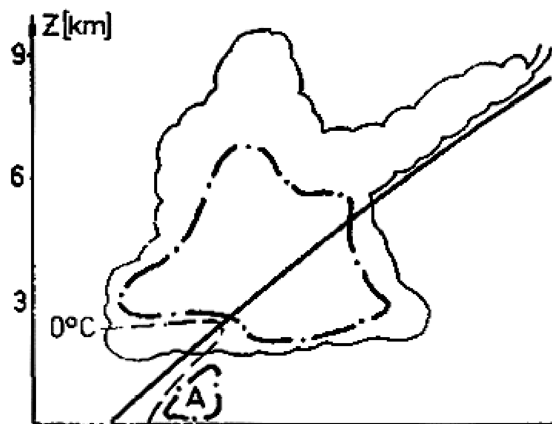
Tokom hladnih meseci ništa nije neobično da pri tlu postoji plitki sloj vazduha temperature niže od 0 ˚C. Istovremeno, iznad ovog sloja je smešten topliji vazduh, čija je temperatura veća od 0 ˚C. Padavine formirane kao sneg u hladnim oblacima se tope dospevši u tople slojeve. Zatim, one se ponovo zamrzavaju u plitkim prizemnim slojevima, pretvarajući se najčešće u susnežicu. Ovako formirane tečne padavine (ledena rosulja i/ili ledena kiša) se u kontaktu sa tlom, čija je temperatura ispod 0 ˚C, pretvaraju u poledicu. Nagomilavanje leda na vazduhoplovu će se dešavati pod istim uslovima, ako je njegova temperatura niža od 0 ˚C. Ovakve situacije se često dešavaju u oblastima toplih frontova. Važan deo praktičnih informacija vezanih za procenu zaleđivanja i stvaranja ledene kiše i/ili rosulje je poznavanje lokacija nivoa zaleđivanja. U atmosferi najčešće postoji samo jedan nivo zaleđivanja. Međutim, povremeno, a specijalno tokom zime, pri tlu se može nalaziti tanak sloj vazduha temperature manje od 0 ˚C, dok se iznad njega nalazi sloj toplijeg vazduha temperature veće od 0 ˚C. U opisanoj situaciji mogu da postoje dva ili više nivoa zaleđivanja.

Zaleđivanje je moguće i pri letu u zoni susnežice. Tada može da bude otežano upravljanje avionom, jer se pogoršava preglednost kroz prednje staklo kabine. I ovde je preporučljivo promeniti visinu leta naviše da bi se let nastavio u zoni suvog snega ili, ako to dozvoljava orografija, spustiti se u sloj vazduha sa pozitivnom temperaturom.

Frontovi. Tip i/ili intenzitet zaleđivanja zavisi od rasprostranjenosti i snage vertikalnog kretanja. Znamo da su frontovi značajni izvori vertikalnog kretanja, oblaka i padavina. Dodatno, frontovi često produkuju temperaturne uzorke koji pogoduju razvoju padavina koje se lede. Tako, nije ništa iznenađujuće da se na frontovima nalaze rasprostranjene oblasti opasnog zaleđivanja, specijalno tokom zime. Procenjeno je da se od svih javljenih slučajeva zaleđivanja, 85% događi u okolini frontalnih zona.

Kao što se očekuje, oblačnost gornjeg dela frontalne površine sadrži uslove čistog, mešanog i injastog zaleđivanja. Ako je podižući vazduh uz frontalnu površinu nestabilan, slojevi zaleđivanja će biti povezaniji sa oblacima vertikalnog razvoja. Takođe, tom prilikom će oblasti zaleđivanja imati dominantno vertikalno, a neznatno horizontalno prostiranje. Suprotno, na mestima stabilnijeg vazduha dominira slojasta oblačnost i horizontalna rasprostranjenost zaleđivanja.

Oblast zaleđivanja se može nalaziti oko 180 km iza hladnog fronta i do 500 km ispred toplog fronta. Ledena kiša (jako zaleđivanje) i ledena rosulja (umereno zaleđivanje) su uobičajene opasnosti u frontalnoj zoni i u plitkom hladnom vazduhu ispod nje (sl. 3.3). Padavine koje se lede u toplom frontu i/ili stacionarnom frontu su obično mnogo raširenije, nego u slučaju hladnog fronta, zbog postojanja razlika u nagibima frontalnih površina. Okludovani vantropski ciklon se može prostirati do troposfere. Tada, umereno zaleđivanje obično cirkuliše u oblačnim masama koje se nalaze oko centra ciklona (Lovrić, 1988).

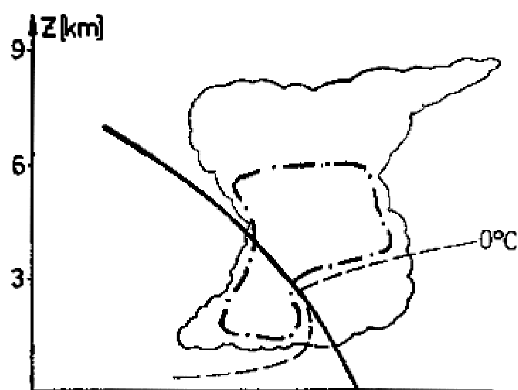


Sl. 3.3 Zona zaleđivanja u oblasti toplog fronta: debelom linijom označen je front, a linijom tačka-crta zona zaleđivanja.

Pri ocenjivanju uslova za zaleđivanje u toplom frontu, treba uzeti u obzir da se oblačni sistem toplog fronta prostire na stotine kilometara u širinu i čak hiljade kilometara po dužini. Prema tome, pri dužem letenju kroz takav oblačni sistem količina leda koji se taloži čak i pri slabom zaleđivanju, može da dostigne veće razmere. Zona sa prehlađenom kišom (A) (sl. 3.3) posebno je značajna. Ako ne uzmemo u obzir zaleđivanje u Cb, u njoj se javlja najjače zaleđivanje, često preko 1 mm/min. Prehlađena kiša pada iz oblaka koji se nalazi iznad frontalne površine i imaju pozitivnu temperaturu, dok se, istovremeno, ispod frontalne površine nalazi hladan vazduh sa temperaturom ispod nule. Padajući kroz hladan vazduh kišne kapi postaju prehlađene. Sve to

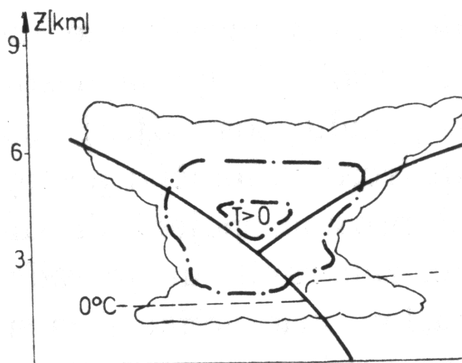
može da se dogodi samo ako postoji veliki temperaturni kontrast na frontu i ako je debljina hladnog vazduha bar oko 1000 m. Ako se u ovim uslovima na toplom frontu razvije konvektivna oblačnost, praćena jakim padavinama krupnih prehlađenih kapi, jačina zaleđivanja ponekad dostiže i 5 mm/min.

Zaleđivanje u Cb hladnog fronta slično je uslovima zaleđivanja u Cb unutar vazdušnih masa, s tom razlikom što na hladnim frontovima ti oblaci mogu da budu razvijeniji i rasprostiru se kao neprekidan zid duž fronta (sl. 3.4). Ipak, samo u linijama nestabilnosti Cb mogu da budu postavljeni duž nje rame uz rame. Kod hladnih frontova obično postoji mogućnost provlačenja kroz međuprostore pojedinih Cb. Ne treba, međutim zaboraviti da je sadržina prehlađene vode u ovim oblacima vrlo velika i da su u njima i najkrupnije prehlađene kapi, te da intenzitet zaleđivanja u letu kroz oblake hladnog fronta može da bude veliki (Lovrić, 1988).



Sl. 3.4 Zona zaleđivanja u oblasti hladnog fronta.

U frontovima okluzije, zavisno od njihovog tipa, javljaju se različiti uslovi za zaleđivanje. Naročito povoljni uslovi za zaleđivanje su u oblacima mlade okluzije po tipu toplog fronta i prehlađenoj kiši ispod njih. Zona zaleđivanja na ovom frontu je, često, dosta prostrana. Interesantno je da u njoj, zbog toga što se u okluziji topliji vazduh potiskuje uvis, može postojati oblast sa pozitivnim temperaturama, u kojoj nema zaleđivanja (sl. 3.5). Tada može, slično kao kod toplog fronta, da se javi prehlađena kiša, pod uslovom da se u hladnom vazduhu nulta izoterma spusti do tla (Lovrić, 1988).



Sl. 3.5 Zona zaleđivanja u oblasti fronta okluzije.

Orografski efekti. Planinski tereni se trebaju smatrati ozbiljnim izvorima opasnog zaleđivanja u slučajevima kada postoje oblaci. Oblaci koji se formiraju usponim kretanjem na navetrenim stranama planina prenose tečnu vodu u zaleđujuće oblasti. Najgore zone zaleđivanja se primarno nalaze na i preko navetrenih strana vrhova planina. Ove oblasti se mogu očekivati u okolini planinskih vrhova iznad oko 1500 m.

Ako nestabilan vazduh prelazi planine dolazi do razvoja oblaka tipa Cu i dubokih zona zaleđivanja. Takođe, potencijalno najgori uslovi zaleđivanja se pojavljuju kada frontovi prelaze vrhove planina. Tada se u procesu stvaranja zone zaleđivanja udružuju uticaji planina, fronta i nestabilnosti.

3.3 LETENJE U USLOVIMA ZALEĐIVANJA

Pošto je zaleđivanje pojava koja je opasna za vazduhoplovstvo, moraju se poštovati izvesni postupci kojima se zaleđivanje ublažava ili sasvim izbegava. Pre svega kada prognoze najave mogućnost pojave zaleđivanja, mora se proveriti ispravnost uređaja za zagrevanje i za razleđivanje vazduhoplova. Zatim treba razmotriti da li se nekim promenama planiranog letenja mogu izbeći zone sa zaleđivanjem. Ovo se uglavnom odnosi na marš-rute, visine ili brzine leta. Moraju se utvrditi postupci u slučaju da jačina zaleđivanja ugrozi bezbednost letenja.

Kada se u toku leta javlja zaleđivanje, uključuju se uređaji koji sprečavaju ili odstranjuju ledene naslage. Obično se zagrevaju napadne ivice krila, prednje staklo, pito-cev i repne površine. Treba napomenuti da se ovi uređaju mogu uključiti čim se uđe u oblak u kojem se, po prognozi, očekuje zaleđivanje. Ako se leti u oblacima sastavljenim samo od ledenih kristala, ne treba odmah zagrevati napadne ivice jer se u takvim uslovima, na zagrejanoj površini krila, ledeni kristal može potpuno ili delimično topiti i stvarati ledenu naslagu. Zato se ovde grejanje uključuje kada je zaleđivanje već otpočelo.

Na zaleđivanje ili, čak, prestanak rada motora pilot reaguje prema uputstvima za odgovarajući tip aviona. Ako se, i pored rada uređaja protiv zaleđivanja, taloženje leda ne prekine, pilot treba da promeni visinu leta. Promenom visine leta avion može da izađe iz oblaka ili iz zone sa prehlađenim kišom, pa će zaleđivanje prestati. Ako je oblačni sloj debeo ili ako avion ne treba da leti van oblaka, onda smanjenjem visine treba avion dovesti u onaj deo oblaka koji ima pozitivnu temperaturu ili penjanjem doći na visinu gde je temperatura ispod –20 ˚C, jer je tu zaleđivanje gotovo uvek slabo. Međutim snižavanje je često nemoguće zbog velikih planinskih prepreka, a povećanje visine zavisi od mogućnosti aviona. U načelu, leti se zaleđivanje može izbeći snižavanjem, a zimi penjanjem. Ali, neophodno je da se pred svako letenje, naravno kada se očekuje zaleđivanje, razmotre ove mogućnosti, uzimajući u obzir visinu leta, visinu izotermi 0 i –20 ˚C i visinu planinskih prepreka na marš-ruti.

U zoni fronta zaleđivanje može da bude jako izraženo, pa treba leteti na visinama gde ga nema. Kada je avion opremljen radarom, na osnovu jačine odraza na ekranu mogu da se otkriju zone u kojima postoji jako zaleđivanje. Ovo je izuzetno važno kada postoji izražen razvoj Cb u nestabilnoj vazdušnoj masi, na orografskim preprekama i na frontu, pogotovo ako su Cb maskirani slojastom oblačnošću. Međutim, promenama pravca i visine na osnovu radarskih podataka mogu da se izbegnu ove opasne zone.

Nije teško zaključiti da je reč o pojavi koja je od izuzetne važnosti za bezbednost letenja. Jer, efekti kao što su smanjenje uzgona i kritičnog napadnog ugla, povećanje brzine prevučenog leta,

otežano upravljanje avionom, prestanak rada instrumenata, prekid radio veze i drugi, govore kolika je to opasnost za avion.

4. GRMLJAVINSKE NEPOGODE

Pod grmljavinskom nepogodom podrazumeva se atmosferska pojava sa čestim i mnogobrojnim *električnim pražnjenjima*, koja nastaju između oblaka ili između oblaka i Zemlje, praćena zvučnim eksplozijama – *gromom*. Istovremeno se javljaju obilne padavine kiše, grada, retko snega, i jaki vetrovi, ponekad olujne jačine.

4.1 NASTANAK GRMLJAVINSKE NEPOGODE

Grmljavinska nepogoda može nastati tek pošto se oformi kumulonimbus, oblak čija visina iznosi bar 5 kilometara, a ponekad njegov vrh probija tropopauzu. Pored napomene da Cb prolazi kroz tri stadijuma (razvoj, zrelost i nestajanje), nabrojaćemo i uslove koji su neophodni za njegovo stvaranje. To su:

- u dovoljno debelom sloju atmosfere mora postojati vlažan vazduh;
- vertikalni temperaturni gradijent mora odgovarati nestabilnom stanju atmosfere u dovoljno debelom sloju;
- mora postojati i dovoljno jak uzrok dizanja vazduha do velikih visina, što se može postići izolacijom i zagrevanjem prizemnog vazduha, prinudnim dizanjem vazduha uz orografsku prepreku, kretanjem vazduha uz frontalnu površinu i slično.

Grmljavinsku nepogodu retko čini jedan Cb. Obično se radi o grupi ovakvih oblaka, a svaki predstavlja jednu grmljavinsku ćeliju, koja prolazi kroz sva tri stadijuma razvoja, uglavnom nezavisno od ostalih ćelija. Čitav ciklus za svaku posebnu ćeliju traje oko jedan sat, s tim što prva dva stadijuma, kada je aktivnost najveća, traju 30–40 minuta.

Grmljavinske nepogode traju i duže, jer svaku od njih najčešće čini skupina grmljavinskih ćelija. Pri prelasku neke od tih ćelija u poslednji stadijum, dolazi do izraženog silaznog kretanja vazduha. On, pri svom širenju iznad tla, može dati jak impuls sa razvoj nove ćelije, jer izaziva uzdizanje toplog vazduha, ispod koje se velikom brzinom podvlači. Ponekad se na ovaj način može regenerisati i susedna ćelija u fazi nestajanja, pa se u već relativno mirnom oblačnom sloju neočekivano nastavlja grmljavinska aktivnost. O tome svakako treba voditi računa pri letenju neposredno posle grmljavine.

Mnogobrojna istraživanja grmljavina svih nepogoda dovela su i do uočavanja nekih njihovih najkarakterističnijih osobina, koje navodimo:

- visina oblaka pri pojavi grmljavine uvek je veća od 5, a može biti i iznad 15 km;
- srednje trajanje grmljavinske nepogode je oko 40 minuta;
- pri tome se javljaju vrlo jaka uzlazna i silazna strujanja vazduha;
- u kumulonimbusu obavezno postoji grad ili krupa;
- jedan od najvažnijih procesa jeste i razdvajanje elektriciteta, koje je najizraženije u oblasti nulte izoterme i dovodi do stvaranja munje, odnosno do električnog pražnjenja;
- zapaženo je i da padavine redovno prethode električnim pražnjenjima.

4.2 VRSTE GRMLJAVINSKIH NEPOGODA

Na osnovu sinoptičkih uslova u kojima se formiraju, grmljavinske nepogode se svrstavaju u: grmljavinske nepogode u vazdušnoj masi i frontalne grmljavinske nepogode.

Svaka od ove dve grupe ima više podvrsta. Grmljavinske nepogode u homogenoj vazdušnoj masi su razbacane (mestimične, lokalne) i najčešće ne predstavljaju veću opasnost za letenje, jer se jednostavno mogu zaobići. Sa druge strane, frontalne grmljavinske nepogode znatno su kompaktnije. Često se duž fronta stvara više stotina kilometara dugačak pojas Cb, pravi grmljavinski zid, koji za mnoge avione predstavlja nesavladivu prepreku (Lovrić, 1988).

Grmljavinske *nepogode u vazdušnoj masi* svrstane su u nekoliko podvrsta:

1. Toplotne grmljavinske nepogode javljaju se u nestabilnoj vazdušnoj masi, pri intenzivnom zagrevanju tla i vazduha Sunčevim zračenjem. One se obično javljaju iznad kopna, u popodnevnim časovima toplog dela godine. Kreću se u pravcu preovlađujućeg vetra na visini, pojačavajući se iznad jako zagrejane podloge i slabeći iznad manje zagrejane. Njihova aktivnost, po pravilu, prestaje u večernjim satima. Javljaju se i iznad mora i okeana i to uglavnom noću.
2. Grmljavinske nepogode nastaju i u slučajevima kada se relativno hladan vazduh kreće iznad toplije podloge. Donji slojevi vazduha se zagrevaju, što može dovesti do razvoja kumulonimbusa. Ovakve situacije se dešavaju leti nad kopnom, pri nailasku hladnijeg i vlažnog vazduha sa mora. Zimi je situacija obratna – hladan kontinentalni vazduh zagreva se i diže iznad toplije morske površine.
3. Orografske grmljavinske nepogode najčešće nastaju u slučajevima kada sem u nestabilnoj atmosferi, vazduh kreće upravo na planinu ili brdo. Orografska prepreka je značajna zbog toga što vazduh, primoran da se kreće preko nje, dobija početni impuls za konvekciju. Uticaj orografije jeste i to što se u periodu insolacije planinsko tlo greje, pa vazduh iznad njega postaje znatno topliji od okolnog vazduha na istoj visini u slobodnoj atmosferi. U nestabilnoj atmosferi to dovodi do burne konvekcije. Ovako nastali kumulonimbusi mogu biti zbijeni jedan uz drugi na navetrenoj strani planine, nalik na frontalne. Nije retkost da budu zaklonjeni (maskirani) drugim oblicima, tako da ih osmatrač sa Zemlje ne može lako uočiti. Ranije formirani kumulonimbusi znatno se pojačavaju ako pri svom premeštanju naiđu na orografsku prepreku. Navedene činjenice su razlog što se najrazvijeniji kumulonimbusi najčešće javljaju u planinskim predelima.

Frontalne grmljavinske nepogode razlikujemo prema vrsti fronta na kome nastaju:

1. Grmljavinske nepogode na hladnom frontu nastaju zbog izdizanja toplog vazduha pod uticajem frontalne površine, koja se, poput klina, uvlači ispod njega. Da bi došlo do stvaranja kumulonimbusa, neophodno je da vazduh ispred fronta bude dovoljno zagrejan i dovoljno vlažan. Uočeno je, na primer, da hladan front može u toku popodneva, dok vazduh iznad njega nije još dovoljno zagrejan, da prođe bez izražene konvektivne oblačnosti, a kasnije da izazove jake grmljavinske nepogode. I nedovoljno vlažan vazduh ne može, svojim uzdizanjem da dovede do stvaranja kumulonimbusa. Jačina grmljavinskih nepogoda zavisi od brzine kretanja fronta, i to upravo srazmerno. Znamo, naime, da se na hladnom frontu druge vrste stvaraju razvijeniji kumulonimbusi koji mogu dostići nivo tropopauze, a ponekad je i probijaju.

2. Grmljavinske nepogode na toplom frontu javljaju se znatno ređe, jer su uzlazna kretanja na njemu mnogo slabija. Kumulonimbusi se mogu razviti onda kada je topli vazduh nestabilan i dovoljno vlažan. Otežavajuća okolnost za vazduhoplovstvo je u tome što su kumulonimbusi, obično, zaklonjeni (maskirani) oblačnim sistemom toplog fronta.
3. Grmljavinske nepogode na frontu okluzije najčešće nastaju na hladnim frontovima okluzije, koji u toploj polovini godine preovlađuju u umerenim širinama iznad kopna. Intenzitet grmljavina na frontovima okluzije najviše zavisi od njihove starosti. Na frontovima okluzije često su grmljavinski oblaci maskirani, do čega dolazi spajanjem frontalnih sistema oblačnosti hladnog i toplog fronta.
4. Ispred hladnog fronta, u toploj i nestabilnoj vazdušnoj masi, ponekad se stvara linija (zona) nestabilnosti (squall line). Ona nastaje kada, u određenim vremenskim uslovima, vazduh veoma intenzivno počne da se diže, na 100–300 kilometara ispred hladnog fronta. Tada se stvaraju jaki kumulonimbusi, poređani duž linije paralelne sa frontom. Oni su praćeni jakim udarima verta, gradom i sl.

4.3 UTICAJ KUMULONIMBUSA NA LETENJE

Avioni, po pravilu, izbegavaju oblasti sa grmljavinom. Jer, tu ih vrebaju mnoge opasnosti, koje mogu dovesti i do katastrofe (sl. 4.1). To su: atmosferska turbulencija, zaleđivanje aviona, grad, munja, jaki udari vetra, tromba i elektrizacija aviona.





Sl. 4.1 Oblaci koje avioni izbegavaju.

4.3.1 Turbulencija i zaleđivanje u kumulonimbusu

O turbulenciji i zaleđivanju u Cb detaljno je govoreno u odgovarajućim odeljcima stoga će ovde biti navedeni samo neki dodatni podaci.

Uspona i nispona strujanja u Cb treba razlikovati od udara vetra. Za njih je karakteristična neprekidnost u nekoliko kilometara po visini, a u horizontali mogu da budu tolikog prečnika, kolika je unutrašnjost grmljavinskog oblaka. Brzina im je relativno konstantna u poređenju sa uda-

rima vetra kod kojih brzina varira u širokom dijapazonu. Uspone i nispone vazdušne struje možemo smatrati kao reke koje teku konstantnom brzinom. I kao što se na rekama javljaju vrtlozi i kreću njenim tokom, tako se i unutar usponih i nisponih strujanja, a naročito na njihovim granicama, stvaraju vrtlozi. Udari vetra i jesu posledica ovih vrtloga.

Svi grmljavinski oblaci odlikuju se turbulentnošću u svojoj unutrašnjosti, pa i u njihovoj okolini. Međutim, samo poneke od njih mogu da budu razornog dejstva na avion. Turbulencija se, izgleda, pojačava sa porastom visine od osnove oblaka pa do 1–3 km i ispod vrha oblaka. Mada je u najvećem broju slučajeva turbulencija najslabija blizu osnove oblaka i vrhova oblaka, ipak ispitivanja su pokazala da i u tim prostorima može da se naiđe na jaku turbulentnost, odnosno jako bacanje aviona. U pojedinim slučajevima turbulentna zona može da se sretne i do 10 km izvan oblaka.

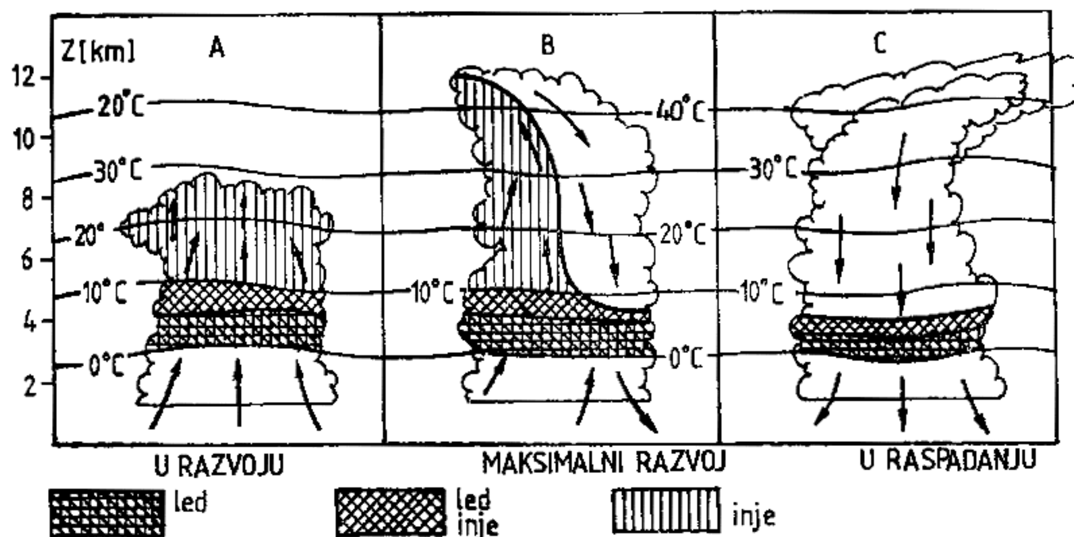
Testovi proletanja kroz kumulonimbus pokazali su da je turbulentnost u direktnoj srazmeri sa količinom padavina. Praktično, to znači da kada pilot leti u jako turbulentnoj zoni unutar oblaka to će, po pravili, biti praćeno jakim padavinama.

S obzirom na ograničen prostor, odnosno ograničene dimenzije grmljavinskog oblaka, let kroz zonu zaleđivanja unutar oblaka biće kratkog trajanja, ali ono može da bude intenzivno. To najviše zavisi od stadijuma razvoja grmljavinskog oblaka.

U kumulusnom stadijumu (u razvoju), čestice oblaka iznad nivoa zaleđivanja (iznad visine gde je temperatura 0 ˚C) biće u tečnom stanju i prehlađene. Ali kada oblak znatno nadvisi taj nivo, počinju se stvarati ledeni kristali, te će na tim visinama zaleđivanje biti manjeg intenziteta (sl. 4.2).

U stadijumu maksimalnog razvoja oblaka zona zaleđivanja je jako razvijena po vertikali, gotovo dostižući sam vrh oblaka. To je rezultat jakih usponih struja koje sobom nose velike količine prehlađenih kapljica različitih veličina i ledene kristale. Jako zaleđivanje ipak se sreće najčešće u sloju oblaka između 0˚C i –10 ˚C, a ne tako retko i do –20 ˚C (sl. 4.2).

U stadijumu nestajanja Cb, u njemu preovlađuju ledeni kristali. Ali, u plitkom sloju blizu nivoa zaleđivanja postoji mešavina prehlađenih kapljica i ledenih kristala i zato je u ovom sloju moguće i jako zaleđivanje (Lovrić, 1988).



Sl. 4.2 Uslovi za zaleđivanje u letu kroz grmljavinski oblak.

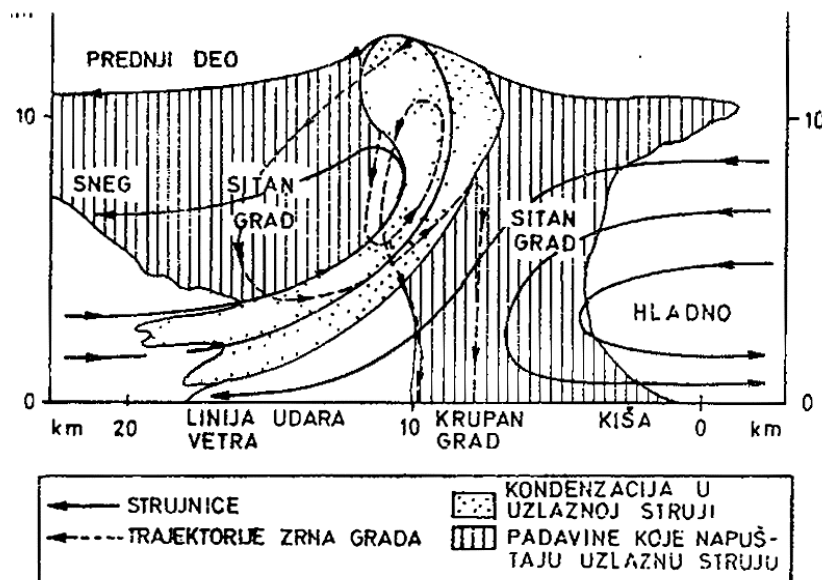
4.3.2 Grad

Grad se pojavljuje prvenstveno kod grmljavinskih oblaka u stadijumu maksimalnog razvitka. Ponekad se grad sreće i izvan oblaka i u tom slučaju pada iz kraja nakovnja ili sa bočne strane oblaka.

Gradonosna nepogoda može trajati od oko 10 sekundi do 30–40 minuta, a prosečna dužina trajanja je, otprilike, 5 minuta. Oblast zahvaćena gradom ima oblik trake koja je široka, u proseku, kilometar-dva (izuzetno preko 10 km), a dužina joj je određena proizvodom trajanja grada i brzine kretanja Cb.

Zrna grada imaju loptast, kupast ili diskoidan oblik, s tim što loptast oblik preovlađuje naročito kada je grad sitniji.

O prosečnoj veličini grada ne zna se dovoljno jer se u izveštajima uglavnom navode veličine krupnih i srednjih, ali ne i manjih zrna. Međutim, ponekad mogu nastati i izuzetno velika zrna grada o čemu ima više proverenih izveštaja.



Sl. 4.3 Model kumulonimbusa u kome se stvara krupan grad.

Na slici 4.3 je predstavljen nastanak krupnih zrna grada. Tu naročito treba uočiti liniju udara vetra, koja nastaje zbog spuštanja vazduha koji je u zadnjem delu kumulonimbusa ohlađen topljenjem i isparavanjem padavina. Naišavši na tle, on se kreće u pravcu kretanja kumulonimbusa i izaziva jako uzlazno strujanje u prednjem i centralnom delu oblaka. Zahvaljujući tom jakom uzlaznom strujanju, zrno grada prolazi više puta kroz oblak i pri tome, povećavajući se zbog sudara sa prehlađenim kapljicama, dostiže veće razmere.

U izgledu zrna grada odmah se uočava slojasta struktura, pri čemu su neki slojevi glatki i prozirni, a neki mutni. To, očigledno, govori o tome da zrno grada pre nego što padne na Zemlju, više puta biva podignuto uzlaznim strujama na veću visinu. Pri tome se svaki put stvori po jedan sloj leda oko jezgra: pri sudaranju sa većim prehlađenim kapljicama stvara se sloj prozirnog leda, a pri sudaranju sa malim ili sa mešavinom malih prehlađenih kapljica i ledenih kristala sloj mutnog ili hrapavog leda.

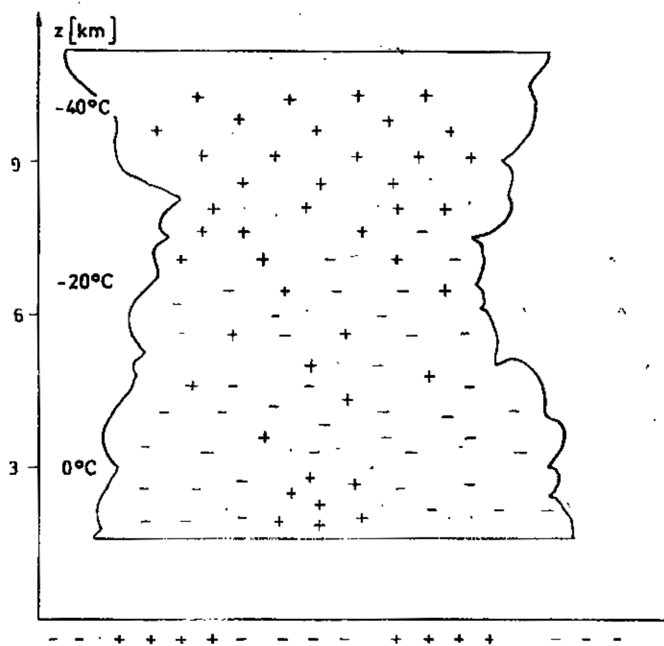
Grad stvara mehanička oštećenja na avionu. Dubina udubljenja na oplati srazmerna je brzini aviona i masi zrna grada. Oštećena površina aviona donekle menja i aerodinamičke osobine letelice.

U letu kroz gradonosni oblak grad veličine od 1 do 2 cm u prečniku može značajno oštetiti napadne ivice aviona za nekoliko sekundi. Treba naglasiti da pri probijanju oblaka supersoničnom brzinom dolazi do ozbiljnih oštećenja aviona (Lovrić, 1988).

4.3.3 Električne pojave u kumulonimbusu (munja)

Zbog više procesa koji se odvijaju u Cb, u njemu dolazi do stvaranja i razdvajanja naelektrisanja suprotnih znakova. U te procese spadaju: raspadanje krupnih kapi u uzlaznim strujama, jonizacija vazduha zbog kororanih pražnjenja unutar oblaka, zamrzavanje oblačnih kapi, sublimacija vodene pare, topljenje i lomljenje ledenih čestica, namrzavanje prehlađenih kapi na ledene čestice i sudaranje čvrstih ili čvrstih i tečnih oblačnih elemenata. Strujanje unutar Cb dovodi do razdvajanja različito naelektrisanih čestica, tako da se u njemu stvore zone elektriciteta (sl. 4.4).

Istovremeno se i na Zemljinoj površini ispod oblaka stvaraju zone indukovanog naelektrisanja. Kada razlika električnog potencijala između oblaka i Zemlje (odnosno, između oblasti sa suprotnim naelektrisanjima unutar istog ili u susednim oblacima) dostigne kritičnu vrednost, doći će do električnog pražnjenja. Kritična vrednost pri kojoj vazduh postaje provodnik elektriciteta, za suvi vazduh iznosi $3 \cdot 10^6$ V/m, dok je za vlažni vazduh za jedno do dva reda veličine manja. Električno pražnjenje vrši se u vidu munje, koja je, ustvari, kanal jonizovanog vazduha sa prečnikom od nekoliko desetica centimetara, sa temperaturom koja dostiže i 30000 K. Naravno, toliko zagrejan vazduh postaje usijan (vidimo munju) i naglo se širi stvarajući jake zvučne talase (čujemo grom).



Sl. 4.4 Raspodela elektriciteta u grmljavinskom oblaku.

Udar munje je jedna od opasnosti kojoj se avion izlaže. Samo prisustvo aviona u blizini Cb izaziva poremećenje električnog polja i stvaranje munje, bez obzira da li je avion naelektrisan ili ne. Do najvećeg broja udara munje u avion u letu dolazi između –5 i +3 ˚C, sa vrlo izraženim maksimumom na 0 ˚C.

Udar munje retko izaziva oštećenje površine aviona, a sprečeno je i prodiranje električnog pražnjenja u unutrašnjosti aviona. Međutim, zaslepljivanje posade bleskom munje i ozbiljne teškoće u održavanju radio veze, jesu mnogo češće posledice.

Ponekad avion može da bude izložen udaru *loptaste munje*. Ova, još nedovoljno ispitana pojava ima prečnik, najčešće između 10 i 30 cm, traje 5–10 sekundi i nastaje uz jak blesak i prasak, mada ima i slučajeva tihog iščezavanja. Sadrži znatnu količinu elektriciteta i pretpostavlja se da ima temperaturu 500–700 K. Najčešće se javlja u crvenoj, narandžastoj, žutoj ili beloj boji, ali može biti i siva, plava, ljubičasta i zelena. Kreću se gotovo neverovatno: mogu da lebde, da se vrlo polako kreću, prolaze kroz prozore, balansiraju duž ograda, a mogu da se kreću i vrlo brzo.

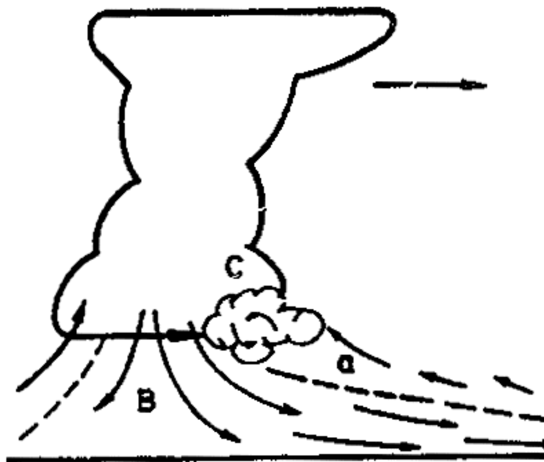
Zabeleženi su slučajevi susreta aviona u letu sa loptastim munjama. Pri udaru o neki deo aviona izaziva jak tresak, ali nisu promenjena značajna oštećenja.

4.3.4 Strujanje vazduha ispod kumulonimbusa

Posebni oblici strujanja vazduha koji se obično javljaju samo u vezi sa Cb, jesu:

- linija udara vetra,
- mikroslapovi,
- tromba (tornado, pijavica).

Pri postojanju Cb, javlja se složeno polje strujanja vazduha u njegovoj okolini. U kumulonimbusu se, između ostalog, odvija i topljenje čvrstih i isparavanje tečnih hidrometeora, zbog čega se vazduh jako hladi. Tako se ispod središnjeg dela oblaka javlja jako nispono strujanje. Ono se pri nailasku na tlo jako širi u horizontalnim pravcima, ali najviše u pravcu strujanja vazduha na visini, sa kojim se, uglavnom, poklapa i pravac kretanja kumulonimbusa.



Sl. 4.5 Strujanje vazduha ispod Cb: a – linija udara vetra, B – mikroslap, C – oblak u obliku valjka.

Vetrovi koji ovako nastaju mogu ponekad imati brzinu preko 40 m/s. Oni idu ispred kumulonimbusa i do 25 km i, osim jačinom, odlikuju se i osetno nižom temperaturom. Linija koja je na slici 4.5 obeležena sa *a*, naziva se linijom udara vetra. Ispred nje vazduh se zbog konvekcije kreće u sasvim suprotnom pravcu. Zbog toga se ovde javlja i jaka turbulencija.

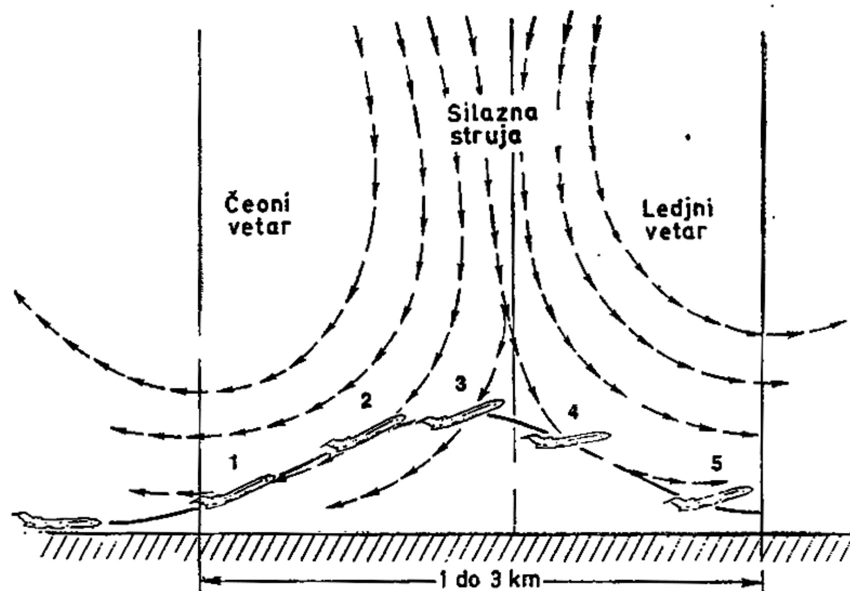
U tim slučajevima na prednjem delu grmljavinskog oblaka, na nekoliko kilometara do kompaktne kišne zone, postoji vrtlog sa horizontalnom osom. On se stvara u zoni suprotnih kretanja vazduha – nasuprot kretanju kazaljke na satu. Ispred njega i delom u njemu postoji uzlazna struja (usisavanje toplog vazduha), a pozadi silazna. U vrtlog je „ugrađen“ oblak posebnog oblika – oblačni „valjak“ ili „kotrljajući“ oblak.

Svaki grmljavinski oblak ne donosi snažne udare vetra, ali je postojanje kotrljajućeg oblaka ispred kišne zavese siguran znak da će nailazeći grmljavinski oblak biti praćen snažnim udarima vetra u prizemlju. Oni su naročito jaki u pravcu kretanja oblaka.

Mikroslap (microburst) se može opisati kao snažna silazna struja hladnog vazduha koja je usmerena iz središnjeg dela kumulonimbusa ka tlu.

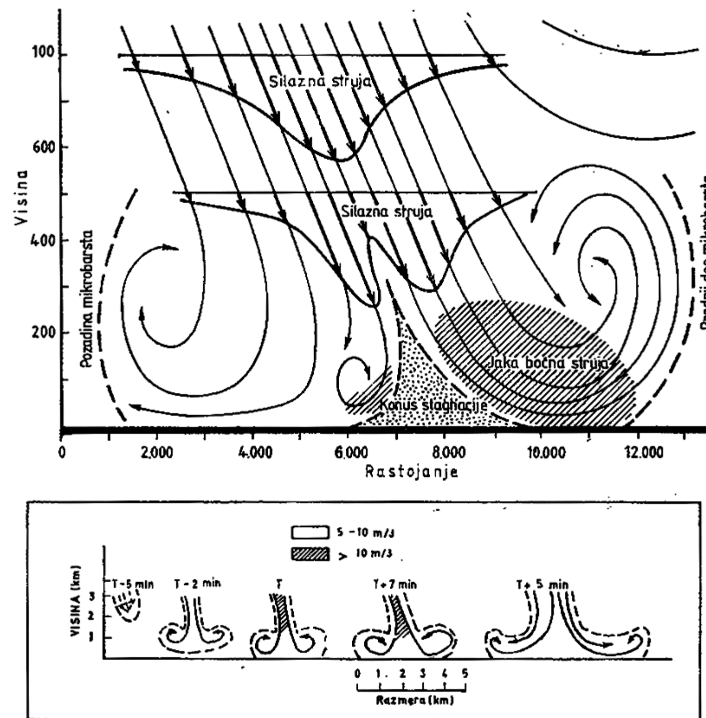
Prečnik ovog snažnog silaznog vazdušnog potoka najčešće iznosi svega 2 do 3 km, a vreme njegovog trajanja ograničeno je na 2 do 5 minuta; zapravo to je vreme trajanja najopasnijeg stadijuma tog fenomena.

Postojanje ovih struja i njihov značaj prvi je objasnio Fujita. Fujitin konceptualni model je korišćen pri razjašnjavanju mnogih avionskih udesa. Pilot mora vršiti brza podešavanja prilikom leta kroz oblast mikroslapa vazduha. Na primer, kada avion proleće kroz mikroslap (sl. 4.6), tada na njega deluju promenljivi vetrovi, u kratkom vremenu, od čeonih do repnih. Tada avion poseduje smanjene performanse. Pri uzletanju pojačava se čeoni vetar sa visinom (položaj 1) i avion se zbog toga podiže. Oko tačke 2 je oslabljen čeoni vetar, i avion se susreće sa silaznom strujom. Tu su performanse uzdizanja smanjenje. U poziciji 3 čeoni vetar se gubi, javlja se samo silazno kretanje oko centra slapa, čime se dalje pogoršavaju performanse dizanja i spuštanja. U poziciji 4 se javlja jak repni vetar, a u položaju 5 ekstremno jak repni vetar. Tako, od položaja 2 do 5 avion poseduje smanjene performanse. Savremeni avioni zahvaljujući velikoj masi poseduju veliku inerciju, koja sprečava brze promene putanje. Sila uzgona na krilima aviona srazmerna je kvadratu brzine vazduha. Znatne promene brzine vetra, kakve se dešavaju u mikroslapu uslovljavaju promene sile uzgona. To je glavni uzročnik odstupanja aviona od planirane trajektorije. Ako se ne poznaje stanje sredine u pogledu vetra pilot ne može uvek da predvidi i otkloni ova odstupanja. Veći čeoni vetar povećava podizanje što može da dovede do približavanja kritičnom napadnom uglu krila, zbog čega avion može da padne. Kada slabi čeoni vetar avion propada, pa je moguće da avion dospe ispod sektora bezopasnog izbora visine. S obzirom da pri poletanju aviona praktično nema mogućnosti brzog dopunskog povećanja vučne sile avion se izlaže opasnosti da udari i u objekte na samom aerodromu (Ćurić, 2001).



Sl.4.6 Idealizovana slika uzletanja aviona kroz vazdušni mikroslap

Da bi se izbegle opasnosti ovakve vrste na prometnim aerodromima se montira specijalna oprema kojom se detektuju smicanja vetra. U tom smislu postavljaju se Dopplerovi radari sa jedinim zadatkom da detektuju vazdušne slapove. Koristi se i druga savremena oprema, kao što je FLIR (Forward Looking Infrared Radiometer). Njime se posmatra oblast hladnog jezgra silaznog slapa u situacijama kada se avion približava pisti, ili pri poletanju. Pošto avionski inercioni sistemi ne obezbeđuju odgovarajuće upozorenje za izbegavanje mikroslapova, zbog toga se mora raspolagati sa tim savremenim sistemima praćenja mikroslapova. Jer, ti slapovi, su vrlo moćni i oni mogu oboriti bilo koji avion.



Sl. 4.7 Vertikalni presek mikroslapa (gore) i njegov životni ciklus (dole).

Za pilota je veoma važno da poznaje neke karakteristike mikroslapova.

1. Mikroslap je pojava vezana za kumulonimbus, ponekad čak i za jako razvijeni kumulus. Od momenta dodirivanja tla snažna silazna strujanja hladnog vazduha počinju da se razilaze na sve strane od ose nisponog vazdušnog strujanja, ali daleko najviše i najbrže u stranu u koju se oblak kreće. Preciznije bi se moglo reći da do razlivanja dolazi nešto ranije, a ne u samom momentu dodira sa Zemljom. Brzine vetra u pravcu kretanja oblaka mogu da dostignu od 40 m/s i više. Do kolikih ubrzanja razlivajućeg vazduha vazduha od ose mikroslapa dolazi vidi se po tome što na visini od 300 m nispona struja u osi mikroslapa ne prelazi 15 m/s.
2. Struktura mikroslapa najbolje se vidi iz njegovog vertikalnog preseka (sl. 4.7). Brzina silaznog vazdušnog strujanja je najveća u osi mikroslapa i opada prema periferiji u obe strane. U pravcu ose stvara se na Zemlji konus stagnacije u kome je kretanje vazduha slabo i koji je, u stvari, delilac strujanja u sve strane od ose, a najviše u pravcu kretanja olujne ćelije. Ako sa T označimo trenutak kada silazna vazdušna strujanja dostignu Zemljinu površinu, onda „začetak“ stvaranja mikroslapa, na visini od oko 3 km, nastaje oko 5 minuta ranije, a po dostizanju tla u roku od 5 minuta dostiže maksimalni razvoj da bi zatim brzo slabio (sl. 4.7).
3. Novija istraživanja pokazuju da se mikroslap ne javlja smo u zoni jakih padavina ispod Cb, koje hlađenjem okolnog vazduha i trenjem sa česticama padavina, doprinose ubrzavanju vazdušnog hladnog protoka prema Zemljinoj površini, već, prema još nepotpunim podacima, češće ispod ćelija koje ne daju padavine.

Uz sve to valja posebno istaći da je mikroslap još uvek nedovoljno ispitana pojava.

Tromba je vrtlog vazduha sa približno vertikalnom osom, u kojem se vazduh kreće ili u ciklonalnom ili u anticiklonalnom smeru. Formira se obično ispred prednjeg dela kumulonimbusa i ima izgled cevi između oblaka i tla, sa proširenjem na krajevima.

Trombe izazivaju velika razaranja na svom putu. Širina zahvata nije velika i kreće se nekoliko stotina metara. Tromba koja se stvara i kreće iznad vode zove se pijavica jer poput usisivača, uvlači vodu u vis.

Rušilačko dejstvo trombe (pijavice) uslovljeno je velikim brzinama vetra koje dostižu 50–100 m/s. Vertikalna kretanja u trombama (pijavicama) dostižu ogromne brzine, do 90 m/s. Postojanje tako velikih brzina potvrđuje se time što pri trombama uzlazno strujanje može podići uvis ljude i stoku i razne predmete. Bilo je slučajeva da su pijavice zajedno sa vodom podizale uvis ribu, meduze, morske alge, koje su potom padale sa kišom na nekoliko desetina kilometara od obale.

Tako snažno uzlazno kretanje objašnjava se naglim smanjenjem pritiska u centru pijavice (trombe) do 40–100 mb. Usled takvog smanjenja pritiska nastaje znatno opadanje temperature vazduha koje dovodi do kondenzacije vodene pare, tj. do obrazovanja visećeg oblačnog stuba.

Pijavice i trombe su česte iznad jugoistočnog dela SAD gde ih nazivaju tornado. Brzina vetra u njima premašuje katkad i 300 m/s.

Trombe predstavljaju opasnost za avione zbog opisane rušilačke snage. Pri prelasku preko aerodroma došlo bi do velikih oštećenja aviona na stajankama, hangara i drugih objekata. Naravno avioni u letu pretrpeli bi katastrofu u oblasti trombe.

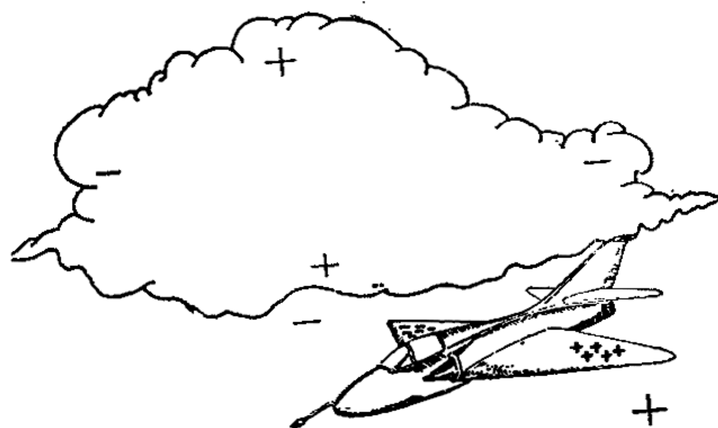
4.3.5 Elektrizacija aviona

Za vreme leta aviona, u strukturi (oplati) dolazi do stvaranja statičkog elektriciteta, i to:

- nagomilavanjem usled trenja i
- elektrostatičkom indukcijom.

Usled trenja sa česticama kiše, snega, kristalima leda (ili pri letu van oblaka kroz zonu zagađenog vazduha i kroz prašinu i dim), na oplati aviona gomila se statički elektricitet prelaskom elektrona na samu oplatu, dok pozitivni joni ostaju u vazdušnoj struji.

Gomilanje statičkog elektriciteta elektrostatičkim indukcijom javlja se za vreme leta aviona u električnom polju grmljavinskog oblaka. Razvijen grmljavinski oblak može da ima više suprotno naelektrisanih zona, koje među sobom obrazuju električno polje napona i do 10 kV/cm. Ako se jedan avion nađe u neposrednoj blizini polarizovanog oblaka, na njegovoj opati se indukuje statički elektricitet sa raspodelom kao na slici 4.8.



Sl. 4.8 Indukcija elektrostatičkog elektriciteta na delovima aviona pri letu u blizini naelektrisane zone oblaka.

Bez obzira na koji je način jedan avion nagomilao statički elektricitet, razlika potencijala dovodi do pražnjenja između pojedinih delova aviona ili u atmosferu (efekat korone). Za avion je opasnije pražnjenje između pojedinih njegovih delova, jer može da prouzrokuje oštećenje komandnog ili nekog drugog, za avion vitalnog sistema ili pak požar.

Korona ne dovodi do oštećenja ali se manifestuje u vidu šumova ili elektrostatičkih smetnji (p-statik) u elektronskoj i radio navigacionoj opremi, kao i na antenama. Ove smetnje javljaju se na svim radio frekvencijama i uslovljavaju pogrešno pokazivanje instrumenata. Velika opasnost može nastati i pri punjenju aviona gorivom u letu, jer je između njega i aviona sa kojeg se toči gorivo, ako postoji dovoljna razlika električnog potencijala, može doći do električnog pražnjenja i do paljenja goriva. Zbog toga se ta operacija izvodi van oblaka i padavina (Lovrić, 1988).

Stvaranje statičkog elektriciteta ne može da se spreči, ali se odgovarajućom zaštitom uglavnom otklanjaju mogući negativni efekti na avion i njegove vitalne sisteme. U tom cilju primenjuje se metalizacija aviona i ekranizacija elektronskih uređaja i provodnika.

Ekranizacija elektronskih uređaja i provodnika drugi je vid zaštite, a služi za eliminisanje efekata p-statika na elektronsku opremu aviona. Predstavlja metalno oblaganje provodnika i uređaja čime se sprečava nepoželjan uticaj talasa na rad opreme.

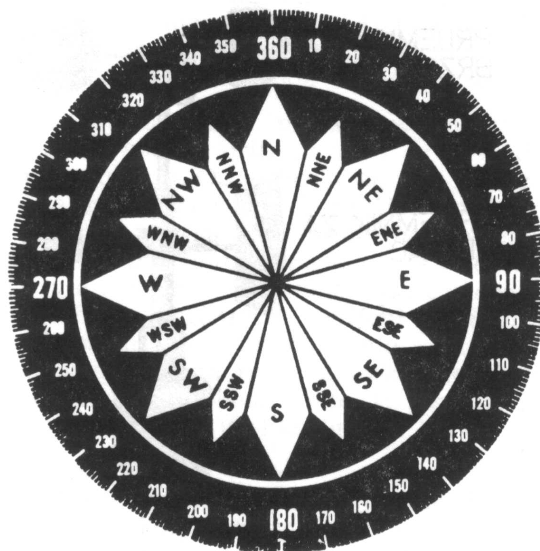
5. VETAR

Jači vetrovi, naročito bočni, ispoljavaju znatan uticaj na letenje, uključujući i zabranu poletanja-sletanja. Otuda je vetar u meteorološkom obezbeđenju letenja jedan od važnijih meteoroloških elemenata. Pravac i brzinu vetra u prizemlju i na visinama piloti koriste u tehničko-navigacionim proračunima u pripremi za let. Znalačko korišćenje podataka o vetru pri poletanju-sletanju i na marš-ruti leta doprinosi bezbednosti i ekonomičnosti leta.

Kao što je poznato, Zemljina atmosfera se nalazi u neprestanom kretanju. Kada ne bi bilo kretanja vazduha ne bi postojale brze promene vremena, dešavao bi se postepeni prelaz od zime ka letu i obratno, a vreme u jednoj godini ne bi se razlikovalo od vremena u drugoj godini. Pri odsustvu horizontalnih kretanja izostalo bi premeštanje toplih vlažnih masa vazduha zimi i hladnih leti sa okeana na kopno i hladnog vazduha sa Arktika u umerene i južne geografske širine, te ne bi dolazilo do otopljenja zimi niti osveženja tokom letnjih meseci.

Veliku ulogu u atmosferskim procesima igraju vertikalna strujanja. Pod njihovim dejstvom vrši se prenos toplote i vlage po vertikali, obrazovanje oblaka i padavina, razvoj grmljavinskih procesa i nastanak konvektivne turbulencije vazduha, koja izaziva bacanje aviona. Horizontalna kretanja vazduha nazivaju se advektivnim a vertikalna konvektivnim strujanjima.

Pod pojmom vetra podrazumeva se horizontalno ili približno horizontalno kretanje vazduha u odnosu na Zemljinu površinu. On je vektorska veličina i potpuno je određen trima vrednostima: pravcem, smerom i brzinom. Pravac i smer vetra određujemo jednim podatkom, a prema ruži od 16 pravaca, ili u stepenima od 0° do 360° (sl. 5.1). U meteorologiji za pravac vetra uzima se onaj pravac odakle vetar duva. Time je određen pravac i smer. Jer, kada kažemo da duva, na primer, severni vetar, to znači da vetar duva iz pravca severa ka jugu. U navigaciji se uzima obratan pravac, tj. onaj pravac u kojem vetar duva.



Sl. 5.1 Ruža vetrova.

Po ruži od 16 pravaca postoje četiri glavna pravca: severni (N), istočni (E), južni (S) i zapadni (W) i 12 pomoćnih pravaca (sl. 5.1).

Jedinica za merenje brzine vetra je metar u sekundi. Pored nje, u vazduhoplovnoj meteorologiji koriste se čvor i kilometar na sat. Odnos između njih je:

1 m/s = 3,60 km/h = 1,94 KNOTS

U praksi se često koriste i kvalitativne karakteristike brzine vetra, tzv. Boforova skala čija su značenja i vrednosti prikazani u tabeli 5.1.

Tab. 5.1 Boforova skala brzine vetra.

Naziv	**Brzina u m/s**
Slab	do 3
Umeren	4–7
Umereno jak	7–10
Jak	10–12
Veoma jak	12–15
Olujan	15–20
Jaka oluja	20–25
Oluja slična orkanu	25–30
Orkan	preko 30

Za merenje pravca i brzine vetra koriste se anemometri – vetrokazi. Anemometrima se mere trenutne vrednosti pravca i brzine vetra. Za merenje pravca i brzine vetra na PSS upotrebljavaju se anemografi, uređaji za neprekidno registrovanje pravca i brzine vetra. Danas se za merenje pravca i brzine vetra na aerodromima sve više koriste elektronski merači vetra, kod kojih se podaci o vetru obrađuju elektronski.

5.1 UTICAJ PRIZEMNOG VETRA NA POLETANJE

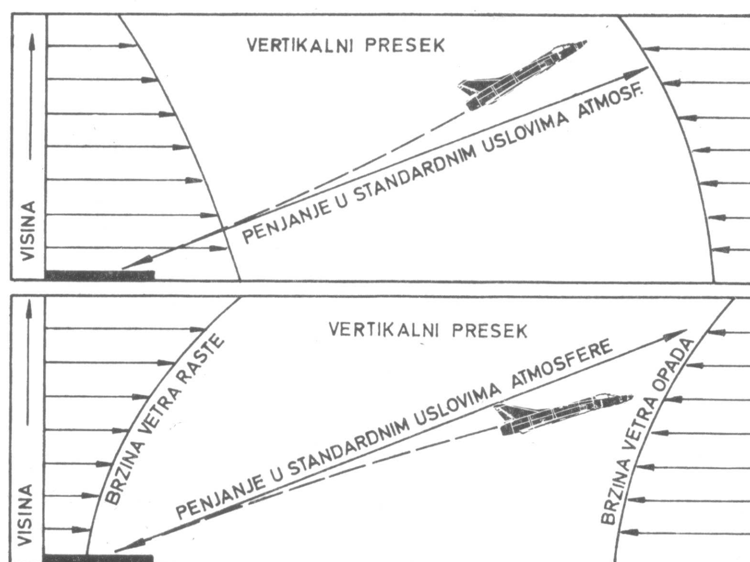
Da bi se avion u toku zaleta pri poletanju „odlepio“ od PSS, potrebno je da postigne takvu brzinu pri kojoj će opstrujavanje profila krila stvarati potrebnu silu uzgona za uzlet. Pri poletanju aviona u uslovima čeonog vetra on će postići potrebnu silu uzgona za uzlet posle kraćeg zaleta, jer je opstrujavanje vazduha oko profila krila jednako zbiru brzine aviona i brzine vetra. To znači da je u uslovima čeonog vetra, naročito jačeg moguće poletati i sa kraćih PSS.

U većini slučajeva vetar nije sasvim čeoni, pa ga tada rastavljamo na čeonu i bočnu komponentu. Bočna komponenta utiče na bezbednost poletanja i sletanja aviona. Pri bočnom vetru se javljaju određeni momenti sila koji teže da skrenu avion sa pravca poletanja, odnosno sletanja. Zbog toga su za svaki vazduhoplov određene granične brzine vetra za određene uglove vetra u odnosu na PSS iznad kojih je svako poletanje i sletanje zabranjeno.

Radi svođenja poletanja i sletanja na minimum u uslovima bočnih vetrova, poletno-sletne staze grade se tako da se protežu u pravcu vetrova koji se najčešće javljaju. Zato je, pre izgradnje PSS, potrebno raspolagati sa najmanje pet godina neprekidnih osmatranja vetra na budućoj lokaciji aerodroma (Lovrić, 1988).

5.2 UTICAJ VETRA NA PENJENJE AVIONA

Nakon poletanja pilot prevodi avion u penjanje. I u ovoj fazi leta vetar ispoljava određeni uticaj. Porast brzine čeonog vetra sa visinom pri penjanju ili smanjenje brzine leđnog vetra, povećava brzinu uzdizanja aviona. Na taj način avion u toku penjanja sledi stvarnu liniju penjanja koja je iznad linije penjanja u standardnim uslovima (sl. 5.2, gore). Obratno: kada čeoni vetar slabi sa visinom ili leđni jača sa visinom, brzina aviona u penjanju se smanjuje, a avion sledi liniju penjanja koja je ispod linije penjanja u standardnim uslovima (sl. 5.2, dole).

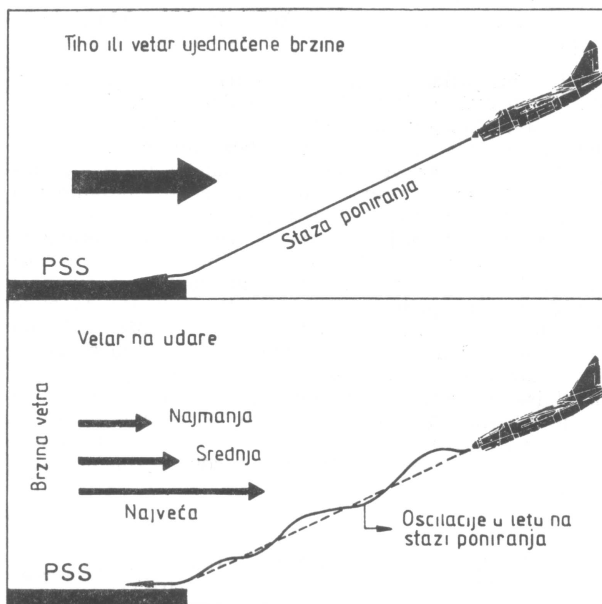


Sl. 5.2 Uticaj vetra na penjanje aviona.

5.3 UTICAJ MAHOVITOSTI VETRA NA LET AVIONA U FAZI PRILAŽENJA NA SLETANJE

Slapoviti vetrovi u prizemlju i do visine nekoliko stotina metara duvaju na mahove - udare. Pri tome, pojedini udari vetra mogu da premaše srednju brzinu za nešto više od dva puta. Njihovo trajanje može da bude ograničeno na svega desetak sekundi i manje.

Završno prilaženje na sletanje pri vetru koji duva na udare nemoguće je izvoditi po idealnoj putanji poniranja. U stvari, moguća su odstupanja aviona koja u pojedinim slučajevima mogu da ugroze bezbedno sletanje. Jaki i kratkotrajni udari vetra dovode do naglog povećanja uzgona i iskakanja aviona naviše od idealne putanje poniranja. Nagla smanjivanja brzine vetra dovode do obrnutih efekata: iskakanje aviona naniže. Pošto su promene vetra neperiodične i pošto u tim uslovima postoje i vrtlozi manjih dimenzija (uporedivi sa razmahom krila aviona i manji), završno približavanje na sletanje može da bude praćeno i naginjanjem s krila na krilo, a može doći i do naginjanja duž drugih osa aviona (sl. 5.3). Kada na aerodromu duva jak vetar na mahove, neophodna je odgovorna i bliska saradnja meteoroloških i organa kontrole letenja u ocenjivanju trenutaka kada staviti zabranu na poletanje ili sletanje na aerodromu. Pilot je obavezan da AKL odmah javi o uslovima leta vazduhoplova u zoni naglih promena brzine vetra (Lovrić, 1988).



Sl. 5.3 Uticaj vetra na udare na sletanje aviona.

5.4 UTICAJ VETRA NA VISINI NA LET VAZDUHOPLOVA NA MARŠ-RUTI

Neka avion na nekoj visini bez vetra postiže brzinu leta od 800 km/h. Ovu brzinu nazivamo brzina aviona kroz vazduh. Ako, međutim, na visini leta duva leđni vetar brzine, na primer, 200 km/h, avion će se i dalje kretati kroz vazduh brzinom 800 km/h, ali će se u odnosu na Zemljinu

površinu iznad koje leti, kretati brzinom koja je jednaka zbiru brzine kroz vazduh i brzine vetra, tj. brzinom od 1000 km/h. Brzinu aviona kojom se on kreće u odnosu na Zemlju nazivamo putna brzina. Avion se, dakle, pored brzine koju postiže vučnom silom elise ili potiskom mlaznog motora, kreće i brzinom sredine u kojoj leti, tj. vazduha. Pri čeonom vetru, očigledno da će se putna brzina smanjivati.

U praksi se najčešće sreće bočni vetar, koji može da bude čeono bočni ili leđno bočni. U prvom slučaju vetar se može razložiti na čeonu i bočnu komponentu a u drugom na leđnu i bočnu komponentu. Čeona i leđna komponenta će, naravno, menjati putnu brzinu vazduhoplova, a bočna će ga skretati sa zadate linije puta. Taj problem eliminiše se rešavanjem navigacionog trougla vetra, čime se, popravkom kursa leta, izbegava zanošenje aviona (Lovrić, 1988).

5.5 UTICAJ SMICANJA VETRA U PRIZEMNOM SLOJU ATMOSFERE NA POLETANJE I SLETANJE AVIONA

Profil vetra u prizemnom sloju (do visine oko 100 m) pokazuje veliki uticaj pri poletanju i sletanju aviona. Za avion su naročito opasne nagle promene pravca i brzine vetra na malom rastojanju u kratkom vremenskom periodu na visinama od 150 m duž trajektorije kretanja aviona koje za posadu mogu biti iznenadne i neočekivane. Kada se avion nađe u fazi sletanja, tada pilot nema dovoljno vremena da parira uticaju naglih promena pravca i brzine vetra. Zbog toga se promene poletno-sletnih karakteristika aviona pod dejstvom naglog slabljenja ili jačanja vetra javljaju čestim uzrokom avionskih udesa. Stalne vazduhoplovne komisije Međunarodne organizacije civilnog vazduhoplovstva (ICAO) ukazuju na neophodnost da vazduhoplovne meteorološke službe na aerodromima kao i posade aviona obaveštavaju o premenama vetra u nižim slojevima atmosfere, do oko 150 m visine, odnosno u zonama poletanja, početka izbora visine i konačnog zalaska na sletanje.

Smicanje vetra je fenomen naglih promena pravca i brzine vetra na malim prostorima i kratkom vremenskom trajanju. Ona mogu biti horizontalna, vertikalna i bočna a po prostornim razmerama su razvrstana u tri grupe: mikro, mezo i sinoptičkih razmera. Mezo razmere smicanja vetra imaju prečnik dejstva do 5 km, ona su najčešća i najopasnija po sigurnost letenja aviona. Njihovo trajanje po vremenu iznosi 5 do 20 minuta.

U okviru mezorazmera smicanja vetra, postoje dve grupe: vertikalne mikro provale vazduha (mikroslapovi) i vertikalne makro provale vazduha (makroslapovi). Mikroslapovi imaju veoma snažna silazna vazdušna strujanja sa zatvorenim putanjama sve do Zemljine površine. Horizontalne razmere ovih struja iznose obično oko 4 km ali mogu biti i manje i od 1 km. Horizontalne brzine vetra, pri ovoj grupi smicanja vetra mogu premašiti i 160 km/h.

Vertikalne makro provale vazduha povezane su sa brzim promenama vazdušnog pritiska, padom temperature vazduha i veoma jakim udarima vetra. Vremenski traju približno 20 minuta i imaju horizontalnu brzinu vetra oko 110 km/h.

Vertikalno smicanje vetra na malim visinama traje kratko vreme i deluje na avion od samo nekoliko sekundi do nekoliko minuta. Međutim, njegovo dejstvo može biti ponekada katastrofalno sa veoma teškim posledicama.

5.6 LET KURSOM NAJKRAĆEG TRAJANJA

Kurs koji treba održavati u letu od aerodroma poletanja do aerodroma sletanja i koji obezbeđuje najkraće vreme trajanja leta, naziva se *kursom najkraće putanje leta* ili *kursom najkraće linije puta*. Kurs leta i linija puta se poklapaju u odsustvu vetra. Pri bočnom vetru, ova dva pravca mogu da se razlikuju za manji ili veći ugao zanosa vetra. Pravac kretanja vazduhoplova u odnosu na Zemljinu površinu naziva se stvarna linija puta. Iz tog razloga najkraća putanja leta ponekad se i zove i linija puta najkraćeg trajanja.

Tehnika leta linijom puta najkraćeg trajanja maksimalno koristi komponente leđnog vetra. Ortodroma predstavlja najkraću udaljenost između dve tačke na Zemljinoj površini (između aerodroma poletanja i sletanja). Održavanje u toku leta ortodromskog kursa, međutim ne podrazumeva da će se to najkraće rastojanje prelaziti za najkraće vreme.

Precizno određivanje linije puta najkraćeg trajanja je dosta složen posao i u praksi može da se rešava samo približno. Linija puta najkraćeg trajanja može da se odredi na dva načina:

1. proučavanjem prognoziranog polja pritiska (vetra) u pripremi za let (u praksi se koriste visinske prognostičke karte standardnih izobarskih površina);
2. postupcima u toku leta, kojima se, u stvari, vrši provera prognoziranog vetra.

Izračunavanje linija puta najkraćeg trajanja za potrebe navigacije u međunarodnom vazdušnom saobraćaju pokazuju da one odstupaju od ortodroma u širokim granicama. Ta odstupanja predstavljaju problem za operativno korišćenje. Otuda se za izvesne marš-rute često naznačuje nekoliko stalnih linija puta. Najpogodnija linija puta bira se sa ciljem da se izbegnu jaki čeoni vetrovi ili nepogode razvijene do velikih visina.

Marš-ruta najkraćeg trajanja leta i operativna visina (nivo) leta ne moraju da se podudaraju sa gledištima ekonomičnosti leta (potrošnje goriva). Performanse vazduhoplova i najekonomičnija brzina krstarenja menjaju se znatno sa visinom. Sa gledišta ekonomije leta (potrošnje goriva) najpovoljnije je let izvoditi neposredno ispod tropopauze, dakle na nivou najniže temperature vazduha.

5.7 EKONOMIJA LETA I VISINSKE PROGNOSTIČKE KARTE

Pod pretpostavkom da su transportni avioni podjednako opterećeni na stalnoj liniji leta u jednom i u drugom (suprotnom) pravcu, onda, koliko se dobija na skraćivanju leta u odlasku, toliko se izgubi na njegovom produžavanju u povratku. Promena kursa ili visine leta radi izbegavanja jakih čeonih vetrova ili iskorišćavanja jakih leđnih pokazala se efikasnom samo u malom broju slučajeva.

Rešavanju problema ekonomičnosti leta u poslednjoj deceniji prilazilo se na drugačiji način od dotadašnjeg. Prvo, pošlo se od današnjih mogućnosti svetske meteorologije da se prognoza vetrova i temperature na nivoima leta, na kojima se odvija vazdušni saobraćaj, obezbeđuje sa zadovoljavajućom tačnošću. Dostignuti stepen u razvoju numeričkih (objektivnih) metoda prognoze vetrova i temperature na standardnim izobarskim površinama, i na bilo kom zahtevanom nivou leta, udovoljava ovom zahtevu.

Na osnovu prethodno unetih prognoziranih vetrova i temperatura u tačkama mreže duž zadate linije leta (kursa, brzine, visine itd.), računar, po određenom programu, vrši potrebne tehničko-

navigacijske proračune. Najvažniji cilj je da se, na osnovu vetrova koji povećavaju ili smanjuju putnu (zemaljsku) brzinu aviona i temperatura duž linije leta, koje utiču na povećanje ili smanjenje potrošnje goriva, proceni vreme dolaska na aerodrom sletanja (ETA – Estimated Time of Arrival), potrošnja goriva i minimalna neophodna rezerva goriva. Pokazalo se neracionalno i neekonomično da se leti sa maksimalnom količinom goriva, uključujući i punu rezervu goriva. Jer, za podizanje te količine goriva na nivo leta i njeno nošenje u toku leta nepotrebno se utroši značajna količina goriva. Sada se na linijama leta za svaki let, zavisno od prognoziranih vetrova i temperatura na nivou leta, izračunava potrebna količina goriva i neophodna rezerva goriva. Praksa je pokazala da se na taj način postižu značajne uštede.

Praksa izračunavanja vetrova u tačkama mreže primenjuje se i pri izradi visinskih karata za standardne izobarske površine. Ovo je na primer karta apsolutne topografije 500 mb na kojoj su pored podataka o vetru i temperaturama, ucrtane i izohipse, odnosno prognozirani barički reljef na visini. Ove karte koriste se za obavljanje tehničko-navigacijskih proračuna gde se još ne koristi sistem računske obrade.

5.8 MLAZNE STRUJE

5.8.1 Pojam i karakteristike mlaznih struja u atmosferi

Mlazne struje datiraju u vazduhoplovstvu od 1920. godine kada je američki pilot Šreder na visini 10000 m leteo iznad države Ohajo na zapad, a prizemljio se istočno od mesta poletanja. U konkretnom slučaju brzina aviona je prevazilazila vazdušnu brzinu aviona te se putna brzina pokazala negativnom.

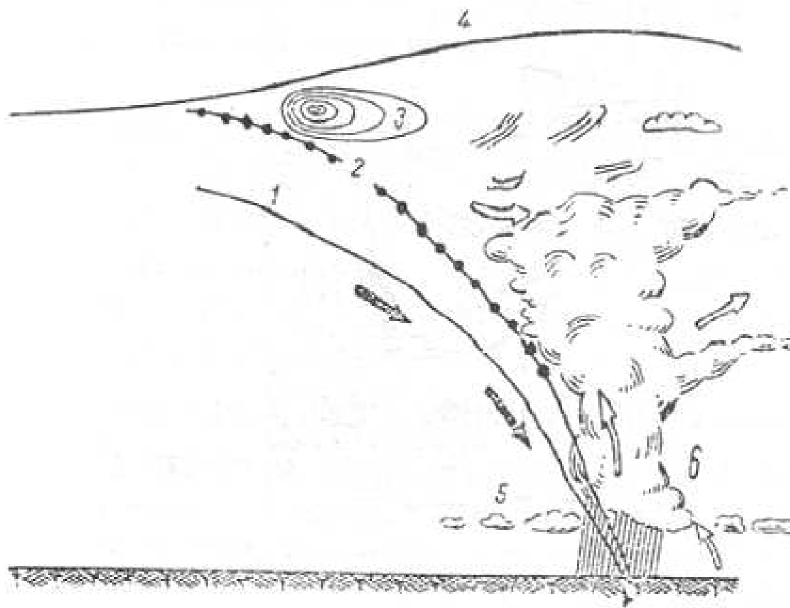
Nakon ovog slučaja počela su ozbiljna ispitivanja vetra u višim slojevima Zemljine atmosfere. Na osnovu brojnih merenja karakteristika vetra na visinama i obrade dobijenih podataka, konstatovano je da u atmosferi postoje vetrovi sa velikim brzinama koje dostižu od 180 do 280 km/h. Takvi vetrovi (vazdušna strujanja) nazvani su *mlaznim strujama* (Lazić, 2012).

Mlazne struje u meteorologiji pominju se posle 1934. godine u radovima mnogih istaknutih meteorologa. Kasnije, radiosondažnim merenjima i formiranjem velikog broja aeroloških meteoroloških stanica u svetu, počelo se sa redovnim merenjem vetrova na visini i sastavljanjem karata barske topografije. Proučavanju mlaznih struja doprineli su i izveštaji pilota mlaznih aviona koji su se u to vreme pojavili.

Prema definicije Svetske meteorološke organizacije, mlazne struje predstavljaju jaka vazdušna strujanja, koncentrisana niz kvazihorizontalnu osu u gornjoj troposferi ili u stratosferi, koja se odlikuju velikim vertikalnim i horizontalnim gradijentima vetra kao i jednom ili više zona sa maksimalnim brzinama vetra. Dužina mlaznih struja meri se hiljadama, a širina stotinama kilometara. Njihova vertikalna rasprostranjenost dostiže, u srednjem, nekoliko kilometara. Gradijenti brzine vetra po vertikali, opet kao srednja vrednost, iznose 5 do 10 m/s na 100 metara a po horizontali oko 5 m/s na 100 kilometara. Za donju granicu mlazne struje uslovno se uzima brzina vetra od 30 m/s (108 km/h).

Dužine mlaznih struja često mogu da dostignu ne samo hiljade već i desetak hiljada kilometara, a u nekim slučajevima one se neprekidno protežu iznad cele Zemljine kugle. Vertikalna rasprostranjenost mlaznih struja, u ekstremnim slučajevima, može dostizati 1500 do 10000 metara.

Osa mlazne struje obično leži 1 do 2 km niže od tropopauze, iznad linije preseka 500 hPa površine i površine polarnog fronta (sl. 5.4). Visina tropopauze menja se u zavisnosti od geografske širine mesta, godišnjeg doba i sinoptičke situacije te se mlazne struje mogu naći u širokom dijapazonu visina. Ispod polarne tropopauze osa mlazne struje obično leži na visini 6 do 8 km, u srednjim geografskim širinama na visini 8 do 12 km a u nižim širinama ispod tropske tropopauze, ona se nalazi na visini 14 do 15 km.



Sl. 5.4 Položaj mlazne struje u odnosu na tropopauzu i frontalnu zonu: 1) frontalna zona, 2) front mlazne struje, 3) mlazna struja, 4) tropopauza, 5) hladni vazduh, 6) topli vazduh.

Neki autori, na osnovu podataka koji su dobijeni ispitivanjima u SAD, smatraju da se u blizini mlazne struje nalazi samostalni front koji nije povezan sa atmosferskim frontom u nižoj troposferi. Takav front dobio je naziv front mlazne struje.

Treba napomenuti da je struktura mlazne struje asimetrična. Na vertikalnom preseku mlazna struja predstavlja po horizontali istegnutu elipsu.

Iznad Severnog Atlantika, podaci dobijeni od strane pilota koji su ovu oblast više puta preletali govore da iznad ose mlazne struje, promena brzine vetra na 1 km visine može dostići 165 do 220 km/h, a ispod njene ose 55 do 80 km/h.

Mlazne struje se u horizontalnom pravcu često pregibaju. Sužavanje i razilaženje mlazne struje na pregibima javlja se jednim od uzoraka turbulencije. Zone turbulencije najčešće se javljaju na mestima najvećih gradijenata brzine vetra, tj. Levo od ose mlazne struje. Takođe je uočeno da se turbulencija javlja na mestima razdvajanja mlaznih struja gde postoje najveći gradijenti brzine vetra (Čobanov, 1992).

5.8.2 Određivanje položaja aviona u odnosu na mlaznu struju

Informacija o položaju, razmerama i ostalim karakteristikama mlaznih struja veoma je važna u vazduhoplovnoj delatnosti i to u ekonomskom, navigacionom i letačkom smislu. Pri letenju savremenih putničkih aviona na dugim linijama ekonomičnost potrošnje goriva ima veliki značaj

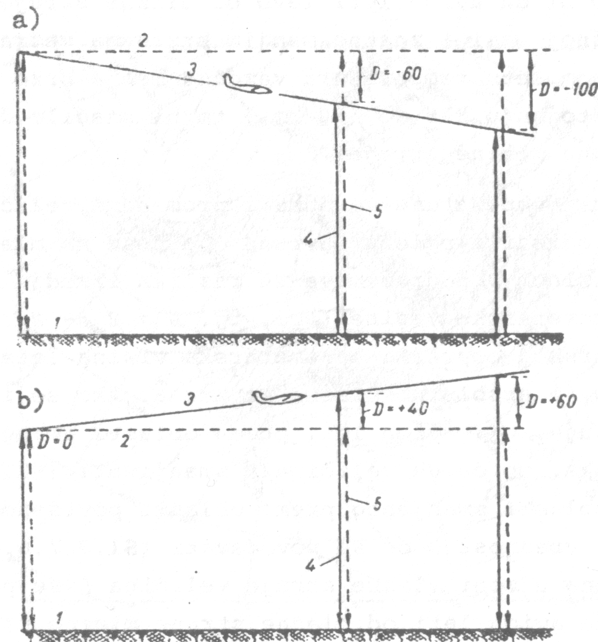
kod svih vazduhoplovnih prevoznika. Zbog toga se posvećuje naročita pažnja da se za ista rastojanja postigne najkraće vreme letenja, a time i najmanja potrošnja avionskog goriva. Jedan od načina da se to postigne jeste korišćenje pogodnih uslova letenja u mlaznim strujama, a to je tada kada se vektor putne brzine aviona poklapa ili je blizak sa pravcem mlazne struje. U današnje vreme mlazne struje se koriste u vazduhoplovstvu da se poveća putna brzina aviona na pojedinim međukontinentalnim vazdušnim linijama.

Potreba korišćenja povoljnih pravaca mlaznih struja i njihovo izbegavanje kad one imaju negativan pravac (čeoni pravac u odnosu na kretanje aviona), dovelo je do neophodnih rešenja niza navigacionih pitanja, kao što su, na primer, kako odrediti položaj aviona u odnosu na mlaznu struju, kako odrediti njenu osu ili usmeriti avion da leti duž ose mlazne struje.

Predznak koji ukazuje da se avion približava mlaznoj struji mogu biti promene temperature okružujuće sredine, ugla zanošenja aviona i putne brzine. Pri tome potrebno je poznavati vrednost realne temperature koja nije izobličena aerodinamičkim sabijanjem vazduha i trenjem o delove aviona. Greške u određivanju vrednosti temperature vazduha pri brzinama letenja bliskim brzini zvuka dostižu 30 do 40º C. Za dobijanje realnih vrednosti temperature vazduha, potrebno je unositi popravke ili koristiti kompenzacione termometre.

Znajući raniji raspored temperature vazduha na visini 300 hPa, može se proceniti položaj aviona u odnosu na mlaznu struju. Na primer, temperatura od –35 do –40ºC mogla bi ukazati da se avion nalazi desno od ose polarnofrontalne mlazne struje, tj. u toploj vazdušnoj masi i u oblasti jakih vetrova. Postojana temperatura vazduha sa vrednošću od –50 ºC ili niža, označavalo bi da avion leti levo od mlazne struje u hladnoj vazdušnoj masi i znatno manjim brzinama vazduha. Ako se u horizontalnom letu temperatura vazduha menja brzo (od 5 do 10 ºC na rastojanju 300 do 400 km), to bi značilo da avion preseca zonu mlazne struje.

Po promenama temperature vazduha i promenama veličine D, može se tačnije odrediti položaj aviona u odnosu na mlaznu struju. Pod veličinom D podrazumeva se razlika između apsolutne (H_a) i barometarske visine (H_b), tj. $D = H_a – H_b$. Pri letenju po izobarskoj površini barometarska visina letenja ostaje postojana, a apsolutna visina se menja. Ako se izobarska visina smanjuje, tj. avion leti prema oblasti smanjenog vazdušnog pritiska, to će se veličina D smanjivati (sl. 5.5 a). Pri letenju iz oblasti smanjenog prema oblasti povišenog pritiska, vrednost D će se povećavati (sl. 5.5b). Pri letenju aviona u zoni mlazne struje veličina D se povećava što ukazuje da avion leti od hladne strane mlazne struje kroz frontalnu zonu prema njenoj toploj strani – ka zoni jakih vetrova. Pri smanjenju vrednosti D, let se odvija obrnutim pravcem. Za letenje sa repnim vetrom u mlaznoj struji, paralelno njenoj osi, potrebno je držati se vrednosti D (Čobanov, 1992).



Sl. 5.5 Promene veličine D pri letenju aviona po izobarskoj površini prema smanjenom (a) i povećanom vazdušnom pritisku (b) 1) morski nivo, 2) nivo postojane barske površine, 3) izobarska površina, 4) apsolutna visina, 5) barometarska visina

5.8.3 Mlazne struje i turbulencija

U mlaznim strujama često se sreću zone sa intenzivnom turbulencijom, koje su uslovljene velikim gradijentima brzine vetra. Kada se avion nađe u takvim zonama dolazi do pojave „bacanja“ koje otežava upravljanje avionom, a posadi i putnicima u avionu izaziva neprijatna osećanja. Ako je turbulencija veoma intenzivna, tada može doći do slabljenja otpornosti materijala koji je ugrađen u avion, a ponekad i do većih oštećenja samog aviona.

Najkomplikovanije i najriskantnije letenje aviona dešava se u dvoslojnim i troslojnim mlaznim strujama koje uzrokuju veoma jaku nesinhronizovanu turbulenciju. Dvoslojne mlazne struje nastaju pri spajanju dveju visinskih frontalnih zona po vertikali. U pomenutom slučaju jedna mlazna struja može se nalaziti severnije od druge ili pak jedna iznad druge. Analizom podataka dobijenih od pilota koji su leteli kroz dvoslojne ili troslojne mlazne struje, konstatovano je da se pomenute mlazne struje u 74,6% javljaju se kod mlaznih struje arktičkog fronta, a 25,4% kod mlaznih struja polarnog fronta.

Dvoslojne mlazne struje imaju širinu oko 700 km (u retkim slučajevima i preko 1100 km) a debljinu 20 do 25 km. Nastajanje dvoslojnih i troslojnih mlaznih struja povezano je i sa određenim sinoptičkim situacijama. Stvaranju ovakvih mlaznih struja najviše pogoduju: jugozapadna i južna periferija anticiklona, severozapadni prodori hladnog vazduha, talasno strujanje na visini i malogradijentna polja povišenog ili sniženog vazdušnog pritiska (Čobanov, 1992).

Pri presecanju mlaznih struja, nadzvučnim avionima se menja rasprostiranje zvučnih udarnih talasa koje oni izazivaju.

5.8.4 Prognoziranje mlaznih struja i brzine maksimalnih vetrova

Za potrebe vazdušnog saobraćaja, najveći značaj daje se prognoziranju budućeg položaja ose mlazne struje i budućeg položaja oblasti maksimalnog vetra na osi mlazne struje. Pri analizi i prognozi mlazne struje koristi se njena povezanost sa visinskim frontovima (frontalnim zonama), a uzimaju se u obzir i neke zakonitosti, svojstvene mlaznim strujama. Mlazne struje najbolje se mogu otkrivati na kartama apsolutne topografije 300 i 200 hPa.

Kod određivanja položaja osa mlaznih struja, u početnom terminu, potrebno je uzimati u obzir da se na udaljenosti (dužini) od 1000 km njena visina može menjati od 1 do 2 km. Zbog toga veoma je korisno analizirati karte apsolutne topografije različitih nivoa. Očigledno je da se na osi mlazne struje javljaju maksimalni vetrovi. Pri sastavljanju karata maksimalnog vetra koriste se podaci o vetru na visinskim kartama a takođe se primenjuju znanja i zakonomernosti o promeni vetra sa visinom.

Prognoza položaja mlazne struje zasniva se na postupcima premeštanja i deformacija planetarnih visinskih frontalnih zona i na prognozi premeštanja i deformacija ose mlazne struje, zapaženih na karti maksimalnih vetrova. Vertikalni položaj ose mlazne struje ne može biti sasvim tačno prognoziran. Prilikom izrade prognoze, uzima se u obzir kolebanje visine tropopauze povezane sa advekcijom toplote ili hladnoće, a takođe i razvoj ciklona i anticiklona. Promene visina ose mlaznih struja nastaju na isti način kao i promene visine tropopauze.

Prognoza oblasti maksimalnih vetrova zasniva se u proceni njihovog premeštanja i evolucije. Na taj način prognoziraju se vrednosti brzine vetra duž ose mlazne struje. Premeštanje oblasti maksimalnih vetrova ima dve komponente:

1. premeštanje oblasti maksimalnih vetrova zajedno sa položajem ose mlazne struje (na način prethodnog postupka);
2. premeštanje položaja oblasti maksimalnih vetrova duž ose mlazne struje.

Evolucija oblasti maksimalnih vetrova određuje se promenama odgovarajućih delova planetarnih visinskih frontalnih zona. Sve što podleže frontogenezi jednovremeno podleže jačanju oblasti maksimalnih vetrova i obratno, sa frontolizom povezano je slabljenje oblasti maksimalnih vetrova. Postanak i jačanje oblasti maksimalnih vetrova javlja se tamo gde postoji zgušnjavanje izohipsa na karti AT 300 hPa a slabljenje i njeno iščezavanje, nastupa u zonama gde se izohipse razređuju.

Prognoza oblasti maksimalnih vetrova za 12 časova može se dobiti metodom koja se zasniva na proceni divergencije (konvergencije) vazdušnog strujanja u prednjem i zadnjem delu oblasti maksimalnih vetrova, tačnije, na proceni zgušnjavanja ili razređenja izohipsi na karti AT 300 hPa (Čobanov, 1992).

6. TURBULENCIJA

Prirodna osobina svih fluida u kretanju je da pod određenim uslovima moraju da sadrže izvestan stepen turbulencije. To znači da skoro uvek možemo naći neki deo fluida gde brzina fluktuira ili se menja na neuređen/haotičan način. Atmosfera je fluid koji ima navedene osobine. Fluktuacije brzine koje se nalaze unutar atmosfere su najčešće slabe i jedva primetne tokom leta. Međutim, povremeno je turbulencija toliko velika da se putnici i posada povrede a vazduhoplov se ošteti ili uništi (Gavrilov, 2001).

Ako bismo pitali pilote, posadu i putnike kako bi opisali turbulenciju, većina njih bi je definisala kao „drmanje ili bacanje u letu“. Važno je uočiti, da se ovakvo određivanje turbulencije, pre zasniva na reagovanju vazduhoplova, nego na ponašanju atmosfere. Zbog toga se ona naziva *vazduhoplovna turbulencija*. Ovakva definicija turbulencije znači da ona nije samo posledica neuređenog/neorganizovanog/haotičnog kretanja vazduha, već je takođe i posledica organizovanih cirkulacija malih razmera. Dodajmo svemu da veličina „drmanja/bacanja“ zavisi od kretanja vazduhoplova i reakcija pilota.

Identifikacija turbulencije zavisi od njenih uzoraka i efekta koje ona ima na vazduhoplov, a pre svega na pilota. Ako su razmere cirkulacija (vrtloga) kroz koje vazduhoplov leti dovoljno velike, pilot ima vremena da se penje, spušta ili skreće da bi izbegao njihov nepovoljan efekat. Na drugoj strani, ako su vrtlozi suviše mali, vazduhoplov bi trebao da prođe kroz njih pre nego što oni mogu napraviti bilo kakav značajan uticaj. Cirkulacije koje stvaraju turbulenciju po svojoj veličini padaju između ova dva razmera. Dimenzije ili razmeri vrtloga, koji produkuju turbulenciju na koju je osetljiva većina današnjih vazduhoplova, kreću se od 15 m do 2500 m. Ako se turbulentni vrtlozi predstave u obliku krugova ili sfera (vrlo pojednostavljeno), njihove dimenzije bi odgovarale prečniku vrtloga ili sfera.

Atmosfersko kretanje stvoreno turbulentnim vrtlozima javlja se u obliku turbulentnih udara. Generalno, čini se da vertikalni udari imaju većeg uticaja na letenje od horizontalnih udara, zato što oni menjaju napadni ugao i visinu vazduhoplova. Međutim u izvesnim fazama letenja (sletanje i poletanje) i u nekim cirkulacijama (zavetreni talasi i rotori), horizontalni udari mogu biti važniji od vertikalnih (Gavrilov, 2001).

Uticaj pilota na vazduhoplovnu turbulenciju i uticaj turbulencije na pilota može se izraziti na brojne načine. Turbulencija nekog intenziteta je u najboljem slučaju samo neprijatnost. Pilot izložen turbulentnim uslovima tokom dužeg perioda iskusiće samo veći umor. Kada je učestalost drmanja/bacanja vazduhoplova vrlo velika (4 do 5 ciklusa u sekundi), pilot ne može da očitava instrumente. Ako je učestalost blizu jednog ciklusa u sekundi rezultat može biti vazdušna bolest (mučnina). Svi ovi efekti, zajedno sa iskustvom i ličnom sposobnošću pilota utiču na njegovu reakciju na turbulenciju. Ako pilot (ili autopilot) prereaguje, izlazne komande vazduhoplova mogu uticaj stvarnih vrtloga pojačati. Takođe, uticaj vrtloga se može i ublažiti primereno postavljenim komandama na vazduhoplovu. Ovakve akcije su poznate kao manevar.

6.1 MERENJE TURBULENCIJE

Smatra se da je najvažnije svojstvo turbulencije njen intenzitet. Skala intenziteta turbulencije prostire se od slabe do ekstremne. Kriterijumi skale su uspostavljeni prema reakcijama vazduhoplova, posade vazduhoplova i pomeranjima nepričvršćenih objekata u kabini. Ova skala se koristi već mnogo godina i utemeljena je na iskustvima sticanim iz analiza vazduhoplovnih vremenskih izveštaja dobijenih od pilota. Pošto su ovi kriterijumi za izveštavanje o turbulenciji visoko subjektivni, jer dominantno zavise od doživljaja i iskustva pilota nazivaju se kvalitativni indikatori turbulencije. Pored toga, oni zavise i od tipa vazduhoplova i njegove brzine. Na primer, turbulencija izveštavana od pilota velikog vazduhoplova je često manje intenzivna, nego turbulencija koju doživljava pilot malog vazduhoplova u istoj oblasti i u isto vreme.

Kriterijumi za izveštavanje o turbulenciji zasnovani na kvalitativnim indikatorima su (Gavrilov, 2001):

- Turbulencija koja kratkotrajno stvara slabe i nepravilne promene u visini i/ili položaju vazduhoplova, izveštava se kao slaba turbulencija; ili turbulencija koja stvara slaba i nagla, ponekad ritmička drmanja bez osetne promene u visini i položaju, izveštava se kao slabo drmanje/bacanje. Putnicu u avionu mogu osetiti slabo stezanje sedišnih kaiševa ili ramenih pojaseva i postoje mali, ne teški problemi u hodu.
- Umerena turbulencija je slična slaboj turbulenciji ali je jačeg intenziteta. Dešavaju se promene u visini i/ili položaju ali vazduhoplov ostaje pod kontrolom sve vreme. Obično stvara varijacije u indiciranoj brzini vazduhoplova. Kada se izveštava umereno drmanje/bacanje imamo turbulenciju koja je slična slabom drmanju ali je jačeg intenziteta. Stvara nagle džombe ili potrese bez osetnih promena u visini ili položaju vazduhoplova. Putnici u avionu osećaju jasno stezanje sedišnih kaiševa ili ramenih pojaseva, nepričvršćeni objekti su izbačeni i hodanje je otežano.
- Jaka turbulencija se izveštava kada se javljaju velike i oštre (nagle) promene u visini i položaju vazduhoplova. To obično izaziva velike varijacije u indiciranoj brzini vazduhoplova i vazduhoplov može biti kratkotrajno van kontrole. Prisutni u avionu su prinudno i žestoko zategnuti sedišnim kaiševima ili ramenim pojasevima a hodanje je nemoguće.
- Turbulencija je ekstremna kada je vazduhoplov žestoko izbačen u okolinu i gde je njime praktično nemoguće upravljati. Ovakva turbulencija može izazvati materijalne štete.

Da bi se smanjila subjektivnost u oceni intenziteta turbulencije, treba reći da su ustanovljeni i kvantitativni indikatori turbulencije. Tri najčešće upotrebljivana indikatora su: *G-opterećenje, fluktuacija u brzini vazduhoplova i izvedena ekvivalentna brzina udara* (Gavrilov, 2001).

G-opterećenje je mera intenziteta turbulencije u odnosu na silu teže po jedinici mase, odnosno g. Kada nema turbulencije uzima se da je G-opterećenje jednako nuli. To se smatra njegovom normalnom vrednošću. Promena vrednosti G-opterećenja iznad ili ispod normale vrednosti je mera intenziteta turbulencije.

Fluktuacije u brzini vazduhoplova se odnose na veličinu pozitivnog ili negativnog odstupanja od srednje indicirane brzine vazduhoplova u trenutku kada se turbulencija dogodi.

Izvedena ekvivalentna brzina udara se određuje iz indicirane vertikalne brzine vazduhoplova. Indicirana brzina uključuje u sebe stvarnu vertikalnu brzinu vazduhoplova i doprinos od tur-

bulentnih udara. Tako, kada se procena ovih doprinosa koristi za meru intenziteta turbulencije dobija se izvedena ekvivalentna brzina udara.

Sigurno je uočeno da ovolika raznolikost pokazatelja intenziteta turbulencije može biti izvanredan alat za primenu u operativnim uslovima. Malo je situacija u kojima se ne može primeniti bar jedan od navedenih pokazatelja. Takođe je važno zapamtiti sledeće pravilo: tokom letenja u oblasti iz koje se izveštava da postoji jaka turbulencija, intenzitet očekivane turbulencije treba interpretirati kao da će biti isti ili jači od javljene. Nikad ne treba očekivati slabiju turbulenciju.

6.2 UZROCI I TIPOVI TURBULENCIJE

Vazduhoplovna turbulencija se može razvrstati na više načina. Međutim svako razvrstavanje uključuje zavisnosti od: mesta/lokacije njenog pojavljivanja, razmera atmosferskih cirkulacija u kojima je prisutna, i uzrok njenog nastanka. Tako, razlikovaćemo četiri tipa turbulencije:

- turbulencija u nižim slojevima (Low-Level Turbulence – LLW),
- turbulencija u ili blizu grmljavinskih nepogoda (Turbulence in and Near Thunderstorms – TNT),
- turbulencija vedrog vremena (Clear-Air Turbulence – CAT),
- turbulencija planinskih talasa (Mountain Wave Turbulence – MWT).

6.2.1 Turbulencija u nižim slojevima (LLT)

Za operativne svrhe turbulencija u nižim slojevima (LLT) se često jednostavno definiše kao turbulencija ispod 15 000 ft računato od MSL. Na drugoj strani, turbulencija u nižim slojevima će ovde biti specificirana kao turbulencija koja se javlja primarno unutar graničnog sloja. Granični sloj može imati debljinu od nekoliko stotina do nekoliko hiljada metara, koja zavisi od veličine sile trenja i intenziteta konvelcije. Turbulencija u nižim slojevima uključuje:

- mehaničku turbulenciju,
- termičku turbulenciju,
- turbulenciju na frontu i
- turbulenciju traga (proizvode je vazduhoplovi u kretanju).

Bez obzira što se turbulencija traga ne može pripisati atmosferi kao njeno prirodno svojstvo, ona spada u opasne pojave blizu tla pa se zato može uvrstiti u LLT. Na drugoj strani, turbulencija grmljavinske nepogode blizu tla i/ili turbulencija planinskih talasa blizu vrhova planina se svrstavaju u druge tipove, jer blizina tla nije dominantna karakteristika iz koje proizilazi glavni uzrok njihovog nastanka (Gavrilov, 2001).

Mehanička turbulencija. Preko ravne podloge značajna LLT se pojavljuje kada je prizemni vetar jak. To se naziva mehanička turbulencija. Ona nastaje zato što sila trenja usporava kretanje vetra u nižim slojevima uzrokujući da se vazduh obrće preko turbulentnih krugova.

Turbulentni vrtlozi stvaraju fluktuacije (udare) u vetru i vertikalnoj brzini. Turbulentni vrtlozi, koji se hvataju preko nosećeg vetra, takođe, svaraju i nagle fluktuacije u smicanju vetra blizu tla. Fluktuirajuće smicanje i turbulencija doprinose da se stvara hrapavo (džombasto) sletanje.

Kada je preko ravne podloge jak noseći vetar, maksimalni udari vetra su obično 40% jači od nosećeg vetra.

Kako se vetar pojačava, tako se mehanička turbulencija širi na sve veće visine iznad tla. Kada su udari prizemnog vetra 25 m/s i više, značajna turbulencija, zbog površinskih efekata, može dostići visinu i iznad 1 km iznad nivoa Zemlje (Gavrilov, 2001).

Prisustvo prepreka, kao što su zgrade i drveće pojačavaju efekte površinske hrapavosti, čime se pojačavaju LLT i smicanje vetra. Obično se tragovi turbulentnih vrtloga stvaraju niz vetar od prepreke (na zavetrenoj strani). Tada se smicajući sloj nalazi između donje osnove turbulentnog regiona i uravnatog visinskog strujanja. Turbulentni efekti izazvani niz vetar iza prepreke obično se nazivaju turbulentni tragovi. Zato su hangari i druge velike zgrade u blizini pista potencijalna mesta za stvaranje dodatnih problema u kontroli poletanja i sletanja u uslovima jakog vetra.

Brda mogu proizvoditi vrlo jake turbulentne tragove u uslovima jakog vetra. Turbulentni vrtlozi stvoreni niz vetar od brda su utoliko veći, ukoliko su brda veća. Takođe, turbulencija i prateće smicanje vetra su veći u okolini brda, nego što bi bili pod istim uslovima duvanja vetra iznad ravnog terena. Priroda turbulencije zavisi i od oblika orografije. Strmije brdske padine pogoduju boljem razdvajanju strujanja od tla, što doprinosi efikasnijem stvaranju vrtloga, LLT i regiona smicanja.

Od pilota se zahteva izuzetna pažnja kada leti preko planinskih/brdskih dolina iznad kojih duvaju jaki vetrovi pravca poprečnog u odnosu na osu doline. Tada se često događa da postoji jasno strujanje uz ili niz brdske/dolinske strane. Za let u okolini planinskih/brdskih dolina treba zapamtiti dva pravila (Gavrilov, 2001):

– kada se poleće iz doline, najbolje je popeti se iznad najviših vrhova okolnih brda pre napuštanja doline i
– uvek je potrebno održavati dovoljno bočno rastojanje od planinskih/brdskih strana/padina, kako u slučaju zahvatanja od strane neke nispone struje ili vrtloga ne bi došlo do sudara sa planinom/brdom.

Vrlo česta deformacija strujanja vazduha javlja se usled sužavanja struja zbog uticaja orografije. Ovi, tzv. kanalski uticaji (efekti) imaju svoje utemeljenje u Bernulijevom zakonu, koji glasi: da bi se u jedinici vremena premestila ista masa vazduha kroz uži presek, kao i kroz širi presek, brzina premeštanja mora biti veća kroz uži presek. Ovaj zakon proticanja vazduha važi za sve fluide.

Slično ovom, stvara se jak vetar i kada se široka struja prinudno sužava zbog orografskih prepreka. Posle toga ovaj vetar dovodi do nastanka LLT i smicanja vetra. U planinskim regionima intenzitet LLT raste povećanjem snage vetra i strmine terena. Umerena LLT nastaje kada noseći vetar dostiže 10 – 12 m/s, dok se jaka turbulencija javlja, kada je vetar 20 m/s ili veći (Gavrilov, 2001).

Termička turbulencija. Termička turbulencija je LLT proizveden suvom konvekcijom u graničnom sloju (suvi konvektivni sloj). To je obično obdanični fenomen. On se dešava preko kopna pod lepim (dobrim) vremenskim uslovima. Solarna radijacija zagreje tlo stvarajući konvekciju u nižim delovima graničnog sloja. Tokom jutra i ranog popodneva konvekcija se pojačava i produbljuje. Ona popodne dostiže maksimum, posle čega hlađenjem tla postepeno umire. Takođe, na mestima gde se ohlađeni vazduh kreće preko toplog kopna ili vode, stvara se termička turbulencija u bilo koje doba obdanice ili noći.

Kao što ukazuje ime, termali (termici) su osnovni elementi termičke turbulencije. Termali su važni izvori za LLT. Oni se podižu kroz vazduh kao topli „mehuri“. Obično se razvijaju blizu podloge, gde su uslovi stvaranja vrlo haotični. Termalno paperje kao uske zavese dižućeg vazduha i prašinske trombe se skupljaju na tlu, posebno kada je podloga vrlo topla.

Ako se termali udaljavaju od podloge njihova veličina raste i postaju mnogo organizovaniji. Oni se mogu postrojiti u nekakve forme zavisno od vetra i terena. Preko ravnih terena pri slabom vetru termali su dobro uređeni, često u obliku „saća“. Jačanjem vetra pojavljuju se oscilacije termala duž pravca vetra. Vrlo jak vetar, kombinacijom mehaničkih i termičkih efekata, obično produkuju jak LLT (Gavrilov, 2001).

Termička turbulencija je opšta karakteristika visokih (planinskih/brdskih) terena. Termali teže da budu uži i jači preko prisojnih padina, pa je i LLT jači u tim oblastima.

Vazduhoplovni jedriličari su vrlo dobri poznavaoci osobina termala. Oni koriste uspona kretanja koja produkuju termali za dostizanje visina preko kojih ostvaruju vrlo dugačke prelete, čak i do nekoliko stotina kilometara. Međutim, termički izvori dizanja za spora jedriličarska kretanja su često i izvori LLT za motorne vazduhoplove. Letom kroz suv konvektivni sloj vazduhoplov je obično izložen uticaju slabe do umerene turbulencije. Tipični usponi udari u termalima dostižu od 60 m/min do 120 m/min, a u ekstremno izveštavanim slučajevima od 300 m/min do 600 m/min. Tako, treba zapamtiti da će podnevno letenje kroz granični sloj izložiti pilota i posadu vazduhoplova učestalim i neprijatnim LLT zbog prisustva termala.

Spas od neprekidnog trešenja vazduhoplova izazvanog termalima često se nalazi u dostizanju tzv. Kapastog stabilnog sloja. U njemu postoji vrlo slabo nispono kretanja. Ovakav sloj je obično udružen sa makrorazmernim anticiklonskim poljem pritiska. Njegov početak se nalazi na vrhu sloja vazduha u kome se događa suva konvekcija. Tokom penjanja vazduhoplova, iznenadan prestanak trešenja je znak da je vazduhoplov prešao iz suvog konvektivnog sloja u kapasti stabilni sloj. Visina ovog sloja obično počinje na nekoliko hiljada metara od tla. Tokom leta preko pustinjskih terena, vrhovi suvog konvektivnog sloja mogu prevazilaziti 3000 m iznad nivoa Zemlje.

Osnova kapastog stabilnog sloja je često vidljiva, kao vrh sloja suve zamućenosti. Ona potiče od prašine i/ili peska podignutog pomoću termala. Ako su prisutni oblaci tipa Cu, pri vrhu sloja suve zamućenosti nalazi se baza ovih oblaka, a njihovi vrhovi dosežu niže delove kapastog stabilnog sloja (Gavrilov, 2001).

Tokom lepog vremena termalima produkovan LLT može biti modifikovan ili prekinut prolaskom fronta, rasprostranjenim oblačnim slojem i vlažnom ili snegom prekrivenom površinom. Takođe, kada je vrlo velika nestabilnost, termička turbulencija preraste u vlažnu konvekciju i grmljavinsku nepogodu. Tada je granični sloj u mnogome modifikovan i LLT je uglavnom rezultat aktivnosti grmljavinske nepogode.

Turbulencija na frontu. Pored izvora smicanja vetra, front može biti i izvor umerene do jake turbulencije na frontu. Obično je u graničnom sloju frontalna zona brzo krećućih hladnih frontova mnogo strmija nego na višim nivoima. Zbog toga, uspono kretanje u uskoj zoni upravo ispred frontalne površine može dostići i 300 m/min. Ovakvi uslovi udruženi sa konvekcijom i jakim vetrom preko fronta dovode do LLT i smicanja vetra. Sve ovo ima za posledicu stvaranje opasnih situacija u letu preko široke oblasti. Intenzitet turbulencije zavisi od snage i brzine fronta (Gavrilov, 2001).

Turbulencija traga. Piloti znaju da vazduhoplovi u letu stvaraju turbulentni trag (sl. 6.1). Ovaj fenomen izrazito turbulentnih osobina možemo da podvedemo pod mehaničku turbulenciju,

ali stvorenu veštačkim putem. Pored navedene osobine, ova vrsta turbulencije ima još jednu važnu osobenost. Ona skoro uvek nastaje na krećućim preprekama. Duvajući vazduh prelazi krećuću prepreku, a iza nje se stvaraju turbulentni tragovi. Na primer, krećuće prepreke mogu biti krila vazduhoplova. U vezi sa tim, termini turbulencija traga ili vrtlog se koriste za turbulenciju, koja se formira iza vazduhoplova prilikom njegovog podizanja.





Sl. 6.1 Turbulentni trag iza aviona u letu.

Nasuprot drugim tipovima turbulencije, koje su teško predvidljive, turbulencija traga je lako predvidljiva. Ona se stvara tokom nastajanja uzgone sile. Tako, vidimo da je stvaranje turbulencije traga svojstvo svih vazduhoplova, jer svi su oni u stanju da stvaraju uzgonu silu. Pošto mnogi vazduhoplovi imaju iste osnovne oblike, vrtlozi koje oni stvaraju teže da budu slični. Međutim, vrtlozi ipak široko variraju u intenzitetu, jer zavise od veličine, težine i brzine vazduhoplova i konfiguracije krila. Spori, teški i veliki vazduhoplovi stvaraju veće vrtloge i jaču turbulenciju, nego manji vazduhoplovi. Turbulencija traga je uzrokovana visokim pritiskom vazduha ispod krila, koji struji ka niskom pritisku iznad krila, do blizu vrhova krila. Ovaj proces stvara dva suprotno rotirajuća vrtloga, koji se vuku iza vazduhoplova. Stvoreni vrtlozi počinju blizu tačke odlepljivanja vazduhoplova, a završavaju se na mestu njegovog poletanja.

Turbulencija traga stvara:

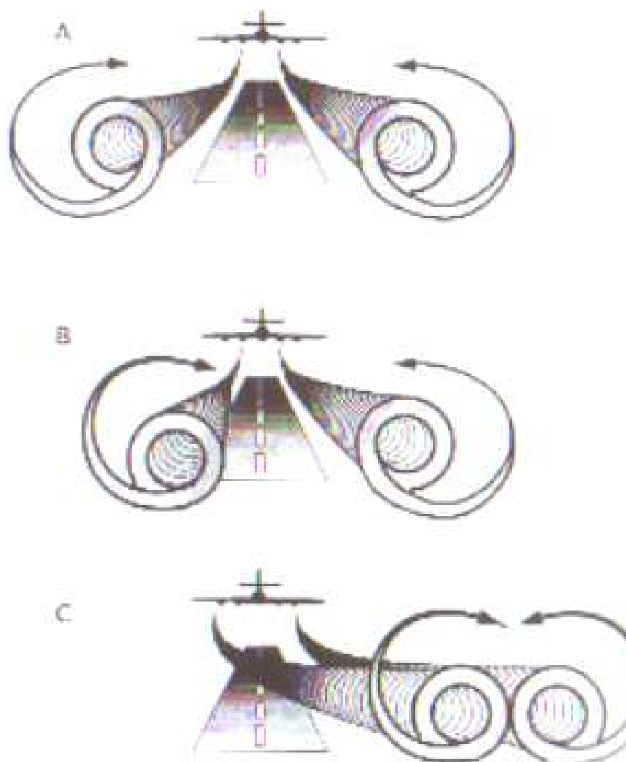
- donju brišuću struju iza krila vazduhoplova i/ili u ravni obrtanja lopatica rotora helikoptera, a uvijanjem se ova struja pretvara u
- usponu struju sa spoljne strane vrtloga i
- nisponu struju sa unutrašnje strane vrtloga.

Kada vrtlozi dostignu punu zrelost (uskovitlanost), njihovo međusobno rastojanje na mestu odvajanja od vazduhoplova iznosi oko dva razmaka krila. Oni su tada obično 8 do 16 m u prečniku, dok njihova stvarna veličina u datom trenutku zavisi od dimenzije krila. Dokle god vrtlozi postoje, oni teže da ostanu razdvojeni na rastojanju od oko tri četvrtine dužine krila. Pored toga, oni mogu da se spuste oko 200 do 300 metara ispod vazduhoplova. Vrtlozi mogu da traju oko

dva minuta, posle čega nastupa njihova disipacija. Oni slabe udaljavanjem od vazduhoplova, a njihovu disipaciju ubrzava atmosferska turbulencija (Gavrilov, 2001).

Kako vrtlozi zavise od pravca i brzine vetra, videćemo na primeru njihovog ponašanja dok su na tlu, i/ili ako su dosegli tlo. U tom slučaju postoje tri tipične mogućnosti njihovog kretanja do disipacije.

1. U uslovima tišine ili veoma slabog čeonog ili repnog vetra (manji od 5 m/s) vrtlozi se kreću bočno od vazduhoplova, udaljavajući se međusobno vrlo ravnomerno brzinom od oko 2 m/s.
2. Vrtlozi mogu biti dovedeni u stanje da se jedan od njih kreće poprečno po pisti, dok je drugi stacioniran. Na primer, to će se dogoditi ako postoji poprečni vetar (oko 2 m/s) na pravac njihovog prostiranja. Tada je ukupna (rezultantna) brzina kretanja vrtloga jednaka zbiru brzine vrtloga i brzine vetra.
3. Ako postoji značajan poprečni vetar (5 m/s ili više), oba vrtloga mogu da se premeštaju po pisti, (slučaj C, sl. 6.2).



Sl. 6.2 Tri slučaja turbulencije traga: A-vrtlozi zadržavaju paralelan položaj, kada nema vetra i/ili kada postoji slab čeoni ili leđni vetar, B-kada je poprečni vetar 5 kt, jedan od vrtloga može biti stacionaran, C-pri jačim vetrovima vrtlozi se premeštaju po pisti.

Iz prethodno izloženog trebalo bi da budu jasne opasnosti od turbulencije traga. Na primer, neka se mali vazduhoplov u dolasku ili odlasku približava velikom vazduhoplovu. On tada može sresti turbulenciju traga velikog vazduhoplova. Za njega će to biti vertikalni ili horizontalni udari

vetra, koji se ponekad neće moći kompenzovati veštim letačkim manevrom. To je posebno slučaj kada se putanjom aviona uđe direktno u vrtlog (Gavrilov, 2001).

Maksimalni udari u turbulentnom tragu aviona dešavaju se u središtu vrtloga. Tako, bili su izveštavani udari od 50 m/s. Takođe, ozbiljni problemi će se stvarati i kada se vazduhoplov nađe tokom poletanja ili sletanja u donjoj brišućoj struji između vrtloga. Sledeća opasna situacija dešava se kada letelica preseca kompletan turbulentni trag. U tom slučaju ona se u kratkom vremenskom intervalu može susresti uzastopno sa jednim vrtlogom, donjom brišućom strujom i drugim vrtlogom.

Turbulencija traga nije ograničena samo na tešku avijaciju. Čak i laki vazduhoplovi mogu proizvoditi značajnu turbulenciju traga.

Zbog svega navedenog, postoje posebno razvijene procedure za izbegavanje turbulencije traga. Sve su ove procedure uglavnom zasnovane na pravilima prostorno-vremenskog razdvajanja vazduhoplova. Time se sprečava da na datom mestu i u datom vremenu može doći do interakcije vrtloga prethodne letelice i naredne letelice. Pri tome se veličina prostorno-vremenskog razdvajanja određuje na osnovu ovde iznetih podataka o razmerama vrtloga. Tačna pravila razdvajanja određuju se *vazduhoplovno tehničkim propisima* (VTP).

6.2.2 Turbulencija u ili blizu grmljavinskih nepogoda (TNT)

Turbulencija u ili blizu grmljavinskih nepogoda (TNT) se pojavljuje u četiri glavna regiona. Saglasno regionu pojavljivanja TNT u sebe uključuje:

- turbulenciju unutar grmljavinske nepogode,
- turbulenciju ispod grmljavinske nepogode,
- turbulenciju oko grmljavinske nepogode i
- turbulenciju blizu vrhova grmljavinske nepogode.

Turbulencija unutar grmljavinske nepogode. Turbulencija unutar grmljavinske nepogode postoji unutar razvijajućih konvektivnih oblaka i grmljavinskih nepogoda. Ona je uzrokovana jakim usponim i nisponim strujama. Najčešća i obično najintenzivnija TNT se nalazi u granicama oblaka, mada turbulencija ispod oblaka može izazvati veće nevolje. Pored toga ona je nepovoljna zato što se pojavljuje u meteorološkim uslovima uz jaku kišu, grmljavinu, moguć grad i obavezno zaleđivanje. Kombinacijom svih ili samo nekih od navedenih opasnih pojava povećavaju se šanse za dezorijentaciju i gubitak kontrole nad vazduhoplovom. To su obično bili glavni uzroci mnogih fatalnih vazduhoplovnih nesreća u susretu vazduhoplova i grmljavinske nepogode.

Turbulencija unutar grmljavinske nepogode dešava se u najmanje dva različita razmera. Veliki vrtlozi imaju veličinu uporedivu sa dominantnim usponim i nisponim strujama. Istovremeno, udari malih razmera se produkuju od jakog smicanja na malim vrtlozima. U početnom stepenu razvoja grmljavinske nepogode turbulencija unutar nepogode se javlja samo zbog postojanja uspone struje. Ona obično zauzima malo manje od polovine oblačne oblasti. Tom prilikom se brzina uspone struje povećava idući od baze ka vrhu oblaka, gde dostiže maksimalnu vrednost.

Tokom stepena zrelosti dolazi do ubrzanja uspone struje kroz čitavu dubinu nepogode. Tom prilikom, brzina uspone struje dostiže maksimalnu vrednost blizu ravnotežnog nivoa, što je često u blizini tropopauze. Zbog naglog podizanja vrhova oblaka, piloti koji lete ispod tropopauze su često u prilici da iznenada susretnu jake izlive (eksplozije) turbulencije. To se dešava kada vrhovi oblaka dostignu nivo leta.

Intenzitet turbulencije se povećava povećanjem razvoja grmljavinske nepogode. Tako, ona je slabog i umerenog intenziteta u početnom stepenu, a umerenog i jakog intenziteta u stepenu zrelosti. Kada ćelija grmljavinske nepogode počinje da se disipira, turbulencija unutar grmljavinske nepogode slabi. Međutim, u odsustvu radara, procenu turbulentnog potencijala nepogode u stepenu disipacije treba praviti veoma pažljivo i samo na osnovu velikog iskustva. Tačan trenutak u kome ćelija iz stepena zrelosti prelazi u stepen dispacije ne može se definisati samo na osnovu vizuelnih pokazatelja. Na primer, u ranom stepenu disipacije, turbulencija je na nekim mestima intenzivnija, nego u stepenu zrelosti. Kasnije tokom disipacije, izolovani parčići jake turbulencije mogu još uvek postojati. Tako, treba zapamtiti, da pošto turbulencije unutar grmljavinske nepogode predstavlja jako opasnu vremensku pojavu, ne preporučuje se let kroz grmljavinsku nepogodu u bilo kom stepenu njenog razvoja, čak i sa dobrim radarskim osmatranjem (Gavrilov, 2001).

Turbulencija unutar grmljavinske nepogode može da daje upotrebljiv radarski eho. Ovo je sasvim razumljivo, ako se podsetimo sastava unutrašnjosti grmljavinske nepogode. Njena struktura sadrži oblačne i padavinske deliće, koji su vrlo pogodni za stvaranje radarskog eha. Tako, intenzitet eha izražen preko VIP skale se koristi za ocenu intenziteta turbulencije prema podacima u tabeli 6.1.

Tab. 6.1 Procena turbulencije pomoću VIP skale. Verovatnoća pojave grmljavina se povećava iznad VIP vrednosti 1, a iznad vrednosti 4 verovatno postoji i jak grad.

Nbr.	Intenzitet radarskog eha prema VIP skali	Intenzitet turbulencije unutar grmljavinske nepogode
1.	Slab	Moguće slaba do umerena
2.	Umeren	Moguće slaba do umerena
3.	Jak	Moguće jaka
4.	Vrlo jak	Izgledno jaka
5.	Intenzivan	Jaka sa organizovanim udarima vetra u prizemlju
6.	Ekstreman	Jaka sa ekstenzivnim udarima vetra u prizemlju

Turbulencija ispod grmljavinske nepogode. Nispona struja izazvana padavinama definiše primarnu oblast turbulencije ispod grmljavinske nepogode. Ovaj fenomen stvara intenzivnu turbulenciju kao i smicanje vetra. Jak vetar izlazne struje i donjeg izliva generiše mehaničku turbulenciju. Takođe, turbulencija se pojavljuje na vrtlozima mikroslapova, u vrtložnom prstenu blizu udarnog fronta i svakako blizu levkastih oblaka, tornada i drugih tornadu sličnim vrtlozima. Kombinacija turbulencije, smicanja vetra, jakih padavina, niske oblačnosti i male vidljivosti čine oblast ispod grmljavinske nepogode vrlo opasnom metom. Zbog svega navedenog, mora se zapamtiti kao važno pravilo da letenje ispod grmljavinske nepogode treba izbegavati (Gavrilov, 2001).

Turbulencija oko grmljavinske nepogode. Ovaj tip turbulencije odnosi se na turbulentne regione izvan glavnih oblasti konvekcije ili:

- turbulenciju u čistom vazduhu (van oblaka),
- turbulenciju u oblačnom vazduhu (u oblaku),
- turbulenciju u udarnom frontu i
- turbulenciju u, preko i ispod oblačnog nakovnja.

Brzina kretanja vazduha u donjem izlivu obične grmljavinske nepogode dostiže nekoliko stotina metara u minuti. Međutim, da li zbog toga, ili iz nekih drugih razloga, postoje slučajevi kada se pojavljuje jaka turbulencija u čistom vazduhu (van oblaka). Njeno stvaranje nije u potpunosti razumljivo, a i kada jeste, ne može se dobro izmeriti. Ova neizvesnost je glavni razlog zbog čega se pilotu preporučuje da vazduhoplov tokom leta održava na dovoljnoj udaljenosti od grmljavinske nepogode (Gavrilov, 2001).

Turbulencija u oblačnom vazduhu (u oblaku) stvara se u graničnim regionima glavne oblačnosti van grmljavinske nepogode. Na primer, to se dešava kada se grmljavinska ćelija postavi kao barijera nekom strujanju većih razmera. Višestruke ćelije i super ćelije se kreću, mnogo sporije nego vetar na visini. Pod tim uslovima, delovi preovlađujućeg strujanja skreću oko grmljavinske nepogode i na tim mestima stvaraju različite turbulentne vrtloge. Ovi efekti se pojačavaju povećanjem snage grmljavinske nepogode i jačine vetra.

Turbulencija u blizini udarnog fronta je zbog regiona u kome se pojavljuje svrstana u turbulencije ispod grmljavinske nepogode. Međutim, ukoliko se jezero hladnog vazduha, doteklo nisponom strujom, proširi daleko van grmljavinske nepogode, i/ili ako ono opstane i posle disipacije grmljavinske nepogode, nastala turbulencija na udarnom frontu može se tada svrstati u kategoriju turbulencije oko grmljavinske nepogode.

Značajno pojavljivanje turbulentnih tragova javlja se zbog turbulencija u, preko i ispod oblačnog nakovnja. Ovaj region se nalazi niz pravac kretanja grmljavinske nepogode na mestu gde se formira nakovanj. To je jedan od najopasnijih delova regiona sa turbulencijom iznad baze oblaka. Ponekad se ovaj region identifikuje kao ispust. Ova oblast je dobro poznata iskusnim pilotima ne samo po jakoj turbulenciji, već i po pojavi grada (Gavrilov, 2001).

Turbulencija blizu vrhova grmljavinske nepogode. Blizu vrhova grmljavinske nepogode su moguće jake cirkulacije. Gomilasta ispupčenja koja se pojavljuju na prebacujućim vrhovima su upozorenja da u toj oblasti postoje izvori značajne turbulencije zbog konvektivnih struja. U interakciji jakog vetra u stabilnoj stratosferi i uspone (konvektivne) struje dodatno se može stvoriti vertikalno smicanje, turbulentni vrtlozi i atmosferski gravitacioni talasi (slični morskim talasima) preko i niz vetar na vrhovima grmljavinske nepogode. Sve to zajedno ima za posledicu stvaranje neuređenog kretanja vazduha, poznatog pod nazivom turbulencija blizu vrhova grmljavinske nepogode. Zbog toga treba zapamtiti da letenje preko vrhova grmljavinske nepogode treba izbegavati kad je god to moguće (Gavrilov, 2001).

6.2.3 Turbulencija vedrog vremena (CAT)

Turbulencija vedrog vremena (CAT) je tip turbulencije koja se javlja u slobodnoj atmosferi, daleko od bilo kakve vidljive konvektivne aktivnosti. Ovaj tip turbulencije se najčešće pojavljuje:

- unutar slojeva od nekoliko hiljada metara ispod i iznad tropopauze,
- bilo gde preko planina i
- zimi i leti.

Naziv CAT je izveden na osnovu ranih iskustva pilota, koji su sretali značajnu turbulenciju u visokim slojevima atmosfere van domašaja bilo kakvih oblačnih aktivnosti. Međutim, sada znamo da procesi koji produkuju CAT, takođe, mogu biti prisutni i u nekonvektivnim oblacima. Ipak, naziv CAT je ostao.

Pošto se CAT ne može osmotriti dovoljno dobro, često se nalazi da je mnogo pogodnije da ovaj fenomen opisujemo u statističkom smislu. Na primer, tokom zadatog leta bilo gde u atmosferi, vazduhoplov ima šansu samo oko 6% da sretne značajni (intenzitet umeren ili snažniji) CAT fenomen, dok su mu šanse za susret jakog ili snažnog CAT fenomena samo oko 1%. Šanse, ali ne velike, za susret CAT fenomena su veće u regionima gde postoji mlazna struja, nego na nekim drugim mestima. Tako, verovatnoća od 10% se smatra velikom šansom da se sretne CAT. Zbog toga su reči „pogodne" oblasti i „visoka" učestalost za susrete CAT fenomena vrlo relativni pojmovi. Posmatrano u apsolutnom smislu, šanse sretanja CAT fenomena se veoma male (Gavrilov, 2001).

Razlog pojačanog interesovanja za CAT fenomene su jaki i ekstremni incidenti koje oni čine. Pri tome stvaraju oštećenja na vazduhoplovima, a ponekad ona mogu biti i tragična. Zato, velika odgovornost stoji na pilotu i meteorologu. Oni moraju sve učiniti kako bi minimizirali šanse za susret vazduhoplova i značajnih CAT fenomena.

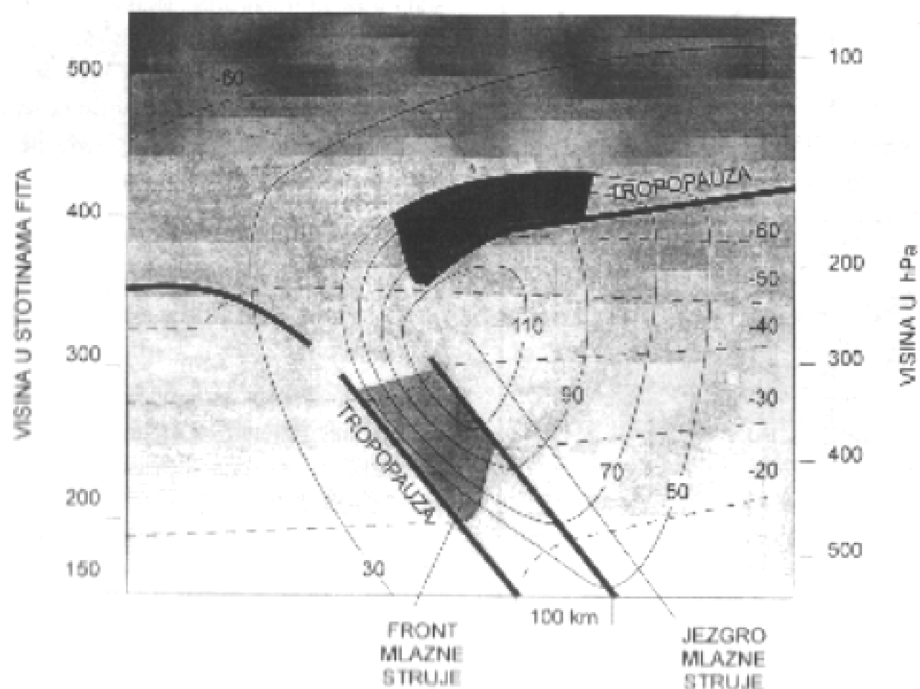
Posebna pažnja posvećuje se CAT fenomenu u slučajevima pojave

- turbulencije u visokim stabilnim slojevima i
- turbulencije mlazne struje.

Turbulencija u visokim stabilnim slojevima je posledica smicanja vetra u blizini visokih stabilnih slojeva atmosfere. Ovaj tip CAT fenomena nastaje delovanjem atmosferskih gravitacionih talasa stvorenih na granici stabilnih slojeva od delića vazduha koji se premeštaju vertikalno. Tada gravitacioni talasi mogu imati talasne dužine od nekoliko stotina do nekoliko hiljada metara. Na primer, ako je vertikalno smicanje vetra veliko, tada talasni grebeni pretrčavaju talasne doline stvarajući vrlo nemirnu okolini. Vazduh se obrne u talasu i to često veoma žestoko. Pod takvim uslovima dolazi do stvaranja CAT fenomena. Ovakvi, kratki gravitacioni talasi se razlikuju od mnogo dužih planinskih talasa. Oni se zbog svega navedenog često nazivaju smicajući gravitacioni talasi.

Na primer, stabilni slojevi na visokim nivoima frontalnih površina i tropopauza su oblasti gde se razvija prethodno opisano vertikalno smicanje. To objašnjava zašto se u ovim regionima favorizuje stvaranje CAT. Takođe, to objašnjava zašto se i jako vertikalno smicanje koristi kao CAT pokazatelj. Šanse za pojavom značajnog CAT fenomena naglo rastu kada vertikalno smicanje vetra naglo prevazilazi 2,5 m/s na rastojanju od oko 300 m (Gavrilov, 2001).

Turbulencija mlazne struje. Turbulencija mlazne struje čini 2/3 CAT situacija. Oblast mlazne struje je zona pojave ovog CAT fenomena.



Sl. 6.3 Idealizovani poprečni presek kroz mlaznu struju. Isprekidane linije su izoterme, a vrednosti su u stepenima Celzijusovim. Pune tanke linije su izotahe (linije koje spajaju tačke istih brzina), a vrednosti brzina su u čvorovima, dok pune debele linije označavaju položaj tropopauze i frontalne zone mlazne struje. Zone najverovatnije turbulencije su zatamnjene. Nagib frontalne zone je preuveličan, a osobine na visini mogu biti značajno različite u zavisnosti od geografske širine

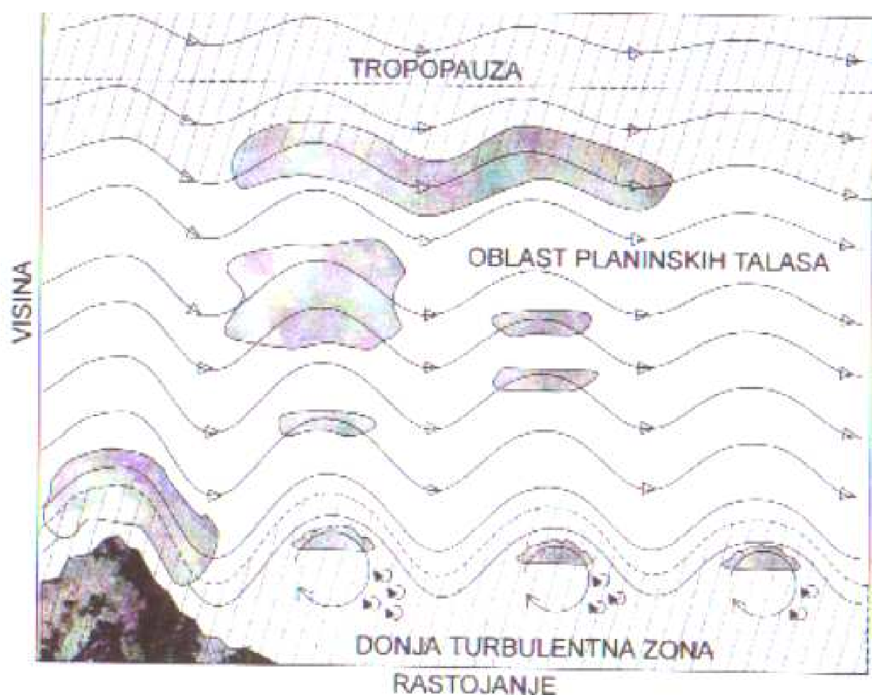
CAT u okolini mlazne struje ima tendenciju da se pojavljuje u tanjim slojevima. Njihova debljina je obično manja od 600 m, širine su nekoliko desetina, pa čak i do stotinu kilometara, a dužine su 100 km ili više. CAT se često pojavljuje i iznenadnim izlivima, kada vazduhoplov preseče tanak i nagnut turbulentni sloj.

U okolini mlazne struje postoje dva posebna regiona u kojim se često pojavljuje CAT. Jedan region se nalazi u nagnutom sloju atmosfere ispod oblasti najvećih brzina mlazne struje (jezgro mlazne struje). Ovaj, nagnut sloj je poznat pod nazivom front mlazne struje i on može biti nađen u svakoj mlaznoj struji. Drugi pogodan sloj za stvaranje CAT je nagnuta tropopauza smeštena na toploj strani mlazne struje, ali iznad njenog jezera. Topla strana je obično ona koja je bliža Ekvatoru.

Poznata je činjenica da nedostaju kvalitetna osmatranja CAT fenomena. Da bi se to nadomestilo, prognostičari često koriste metod uvida u vremenske uzorke velikih razmera, kao glavni način za dijagnosticiranje i prognoziranje CAT fenomena. Ovaj metod se zasniva na poznavanju statističkih relacija između pojavljivanja CAT i izvesnih oblika konfiguracije mlazne struje. Na osnovu poznavanja ovakvih relacija prognostičari su sposobni da odrede velike oblasti potencijalne turbulencije. Značajni CAT fenomeni i smicanje vetra su mnogo izgledniji u uslovima kada je brzina jezgra mlazne struje iznad 55 m/s. Tačan položaj CAT fenomena se ne može dobro odrediti. Izuzetak od toga je prilika kada vazduhoplov sretne CAT i o tome napravi izveštaj (Gavrilov, 2001).

6.2.4 Turbulencija planinskih talasa (MWT)

Turbulencija planinskih talasa (MWT) se proizvodi u regionima gde se pojavljuju planinski talasi. Razlikujemo turbulenciju u oblasti planinskih talasa i turbulenciju u donjoj zoni (sl. 6.4). Korisno je zapamtiti da intenzitet MWT zavisi od brzine vetra blizu planinskih vrhova. Tako, što je brzina vetra veća na nivoima bližim vrhovima planina, veće su šanse za stvaranje turbulencije.



Sl. 6.4 Poprečni presek kroz idealizovan sistem planinskih talasa. Vazdušne struje su prikazane tankim linijama koje su označene strelicama. U šrafiranim oblastima se stvara turbulencija.

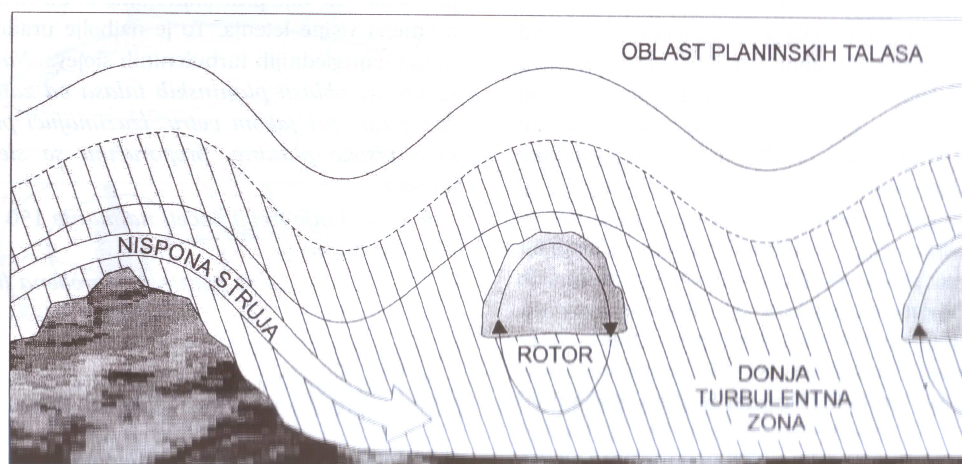
Turbulencija u oblasti planinskih talasa. Planinski talasi su mnogo češće uravnati nego što su turbulentni. Međutim, ako turbulencija postoji ona se naziva turbulencija u oblasti planinskih talasa. Najizglednije mesto za pojavu ove pojave je unutar sloja od 1500 metara debljine oko tropopauze. Blizu tropopauze vetar dostiže maksimum. Iznad i ispod ovog nivoa, uz pomoć vertikalnog smicanja, stvaraju se uslovi za nastanak glavne zone turbulencije u oblasti planinskih talasa. Aktivnost planinskih talasa jača smicanje vetra i pomaže razvoj smicajućih gravitacionih talasa. Uslovi za pojavu planinskih talasa i CAT su mnogo povoljniji kada je preko planinske oblasti postoji i mlazna struja. Od ostalih mesta u oblasti planinskih talasa, MWT je obično najjači na prvom ili primarnom talasnom ciklusu, upravo niz vetar od planinskog grebena.

Talasna aktivnost proizvodi opasne vremenske pojave. Za vazduhoplov bi bilo najbolje da ih izbegne. Međutim, ako promena rute nije prihvatljiva, bila bi od velike pomoći bar promena visine letenja. To je najbolje uraditi što dalje od mesta najizglednijih turbulentnih slojeva. Na primer, kada se prilazi oblasti planinskih talasa od zavetrene strane (uz vetar) pri jakom vetru, izuzimajući pri tome samo jako visoke planine, preporučuju se sledeća pravila letenja:

- penjanje treba početi najmanje 150 km daleko od planine,
- pre preletanja planinskog grebena treba se popeti na visinu koja je najmanje 900 do 1500 metara iznad vrhova planine i
- najbolja procedura za prilaz grebenu je pod uglom od 45°, da bi se omogućilo brzo povlačenje u slučaju nailaska na turbulenciju.

Ako prvi pokušaj preletanja grebena bude neuspešan, treba napraviti i drugi pokušaj na većoj visini. Na žalost ponekad se mora birati između povratka i prelaska na drugu, pogodniju rutu (Gavrilov, 2001).

Turbulencija u donjoj zoni. Ovaj tip turbulencije postoji u graničnom sloju u sistemu planinskih talasa. U ovom sloju jak vetar i smicanje vetra proizvode rasprostranjenu turbulenciju po kojoj je ovaj sloj i dobio naziv. U tipičnim slučajevima najgora turbulencija se dešava preko zavetrene strane planinskog grebena, ispod prve talasne doline i u prvom rotoru (sl. 6.5).



Sl. 6.5 Donja turbulentna zona u sistemu zavetrenih talasa i mesta najjače turbulencije (šrafirana oblast).

Jak vetar je blizu planine upravljen niz padinu. Oblast jakog vetra se širi delovima zavetrene strane grebena. U uslovima jako izraženih planinskih talasa, jak prizemni vetar i njegovi udari se mogu proširiti daleko izvan planinskog podnožja. Ovakvo nispono kretanje stvara fenske efekte. Tako, jedna od najvažnijih aktivnosti u donjoj turbulentnoj zoni jeste duvanje suvog i toplog fenskog vetra.

Ako postoji dovoljno vlage, planinski talasi se mogu identifikovati prisustvom oblaka. Kapasti oblaci ukazuju na snažno nispono kretanje preko zavetrenih strana.

Obično se najjači MWT pojavljuje u rotor cirkulacijama koje se nalaze ispod grebena talasa. Prvi rotor niz vetar od planinskog grebena je obično najintenzivniji. On i prvi talasni ciklus čine mesto najjače turbulencije u donjoj turbulentnoj zoni. Visina centra rotor cirkulacije je oko visine vrha planinskog grebena. Ako postoji, rolasta oblačnost je obično smeštena na vrhu rotora. Jak i dobro razvijeni rotor je zatvorena cirkulacija. On poseduje osnovnu i povratnu struju, kao i dve vertikalne struje suprotno usmerene.

Jačina rotora je proporcijalna jačini zavetrenih talasa. Tako, rotor može biti snažniji na mestima gde je: jači vetar na vrhu planine, veći nagib planinske strane i gde je planina vrlo visoka u odnosu na svoje podnožje.

U nekim slučajevima rotor može biti veoma slaba cirkulacija, a ponekad može i da ne postoji. Međutim, uvek se savetuje oprezan pristup mestu rotora. Postoji pravilo, kada se sumnja da planinski talasi postoje, sa ili bez rolastih oblaka, treba prihvatiti da postoji bar jedan jak rotor (Gavrilov, 2001).

7. ATMOSFERSKI AEROSOLI

7.1 OPŠTE NAPOMENE

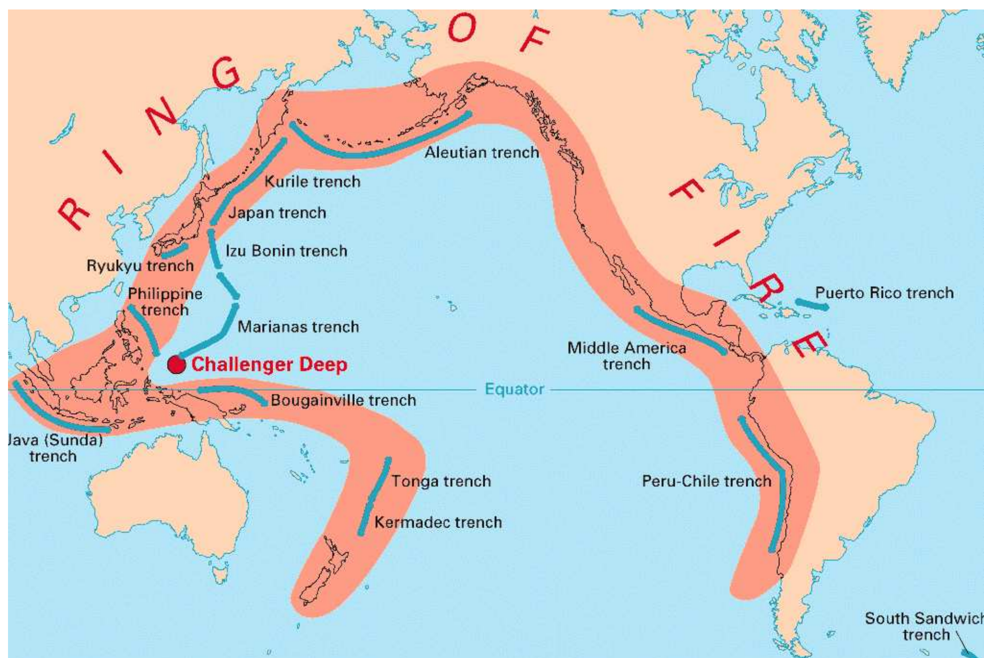
Aerosoli su sitne čestice u čvrstom ili tečnom stanju koje lebde u vazduhu. Reda su veličine od 10 nanometara pa do 10 mikrometara. Ove dimenzije pokazuju da aerosoli mogu biti veličine nekoliko molekula pa sve do većih čestica koje vazduh ne može da nosi.

Neke aerosoli nastaju prirodno, potiču od vulkanskih erupcija, peščanih oluja, šumskih požara, raznih biljaka i morskog rasprskavanja. Ljudske aktivnosti, kao što je loženje fosilnih goriva takođe generiše aerosoli. Prosečno gledano, antropogene aerosoli (aerosoli koje stvori čovek svojim aktivnostima) zauzimaju 10% od ukupne količine aerosoli u atmosferi.

Na letenje najveći uticaj ispoljavaju vulkanski pepeo i saharski pesak.

7.2 VULKANSKI PEPEO

Postoji 1500 vulkana, poznatih širom sveta od kojih je 600 trenutno na listi aktivnih. Najveći broj aktivnih vulkana nalazi se u pacifičkom regionu (Vatreni pojas Pacifika) (sl. 7.1).



Sl. 7.1 Vatreni pojas Pacifika.

Ukupno se dešava 55 do 60 erupcija godišnje, a evidencije praćenja nam govore da neke od ovih eksplozivnih erupcija izbacuju vulkanski pepeo na nivoe letenja od trideset do četrdeset hiljada stopa. Pri dolasku komercijalne avijacije u dodir sa pepelom, raspršenim u vazduh putem vulkanske erupcije, dolazi do višestrukih otkazivanja motora aviona.

7.2.1 Definicija. Karakteristike.

Vulkanski pepeo se definiše kao vrlo male, čvrste čestice izbačene iz vulkana tokom erupcije, čije su mere srednjih osa 2 mm ili manje (U.S. Geological Survey-Geološki topografski institut SAD) dok je "fini prah" od strane istog izvora definisan kao čestice koje su manje od 1/16 (0,0625) mm u prečniku.

Tokom vulkanske erupcije, ogromne količine materijala mogu biti izbačene u atmosferu dostižući veliku visinu i ostajući tamo kao opasnost po avijaciju čak nekoliko meseci. Vulkanski pepeo se akumulira na većim nadmorskim visinama u oblacima i potom struji u pravcu vetra. Pepeo se ne pojavljuje na avio-meteorološkom radaru, niti na radaru kontrole vazdušnog saobraćaja (ATC radar = Air Traffic Control) zbog jako male veličine čestica. Čestice pepela nose naelektrisanje i unutar oblaka vulkanskog pepela mogu izazvati munje i grmljavinu u oblasti neposredno iznad erupcije.

Noću, Vatra sv. Elma[1], nastala kada naelektrisane čestice pepela udare u letelicu, može biti prvi pokazatelj posadi da lete kroz gust vulkanski pepeo (sl. 7.2). Drugi pokazatelji mogu biti sumporasti miris i prašina unutar kabine.



Sl. 7.2 Vatra sv. Elma.

[1] *Vatra svetog Elma* je vidljivo svetlosno električno pražnjenje koje se može primetiti oko delova letelice, kada naelektrisanje na letelici postane dovoljno jako. U prirodi je slična sjaju neonske cevi i često biva primećena kao vatreni trag četkice u obliku aviona, koji se proteže od vrha antene, krila, elise ili nekog drugog dela aviona.

7.2.2 Prepoznavanje

Indikatori koji ukazuju na to da avion prodire u zonu vulkanskog pepela vezani su za miris, izmaglicu, promenljivo stanje motora, brzinu, promenu pritiska i statičko pražnjenje

Miris. Pri susretu sa oblakom vilkanskog pepela, posada aviona obično oseti dimni ili oštar miris, nalik na električni dim, spaljenu prašinu ili sumpor.

Izmaglica. Većina posada aviona kao i putnika vidi izmaglicu koja se razvija unutar aviona. Prašina može ostajati na površinama.

Promene uslova rada motora. Vulkanska prašina može izazvati iznenadna vrtoglava ubrzanja, varničenje iz cevi za izbacivanje gasova i otkazivanje motora. Temperature motora mogu se neočekivano menjati i može doći do pojave belog sjaja na usisniku motora.

Brzina. Ako vulkanski pepeo ošteti Pitot-cev[2], može doći do smanjenja ili neočekivanog variranja brzine aviona.

Promena pritiska. Vazdušni pritisak u kabini može da se promeni uključujući mogućnost potpunog prestanka pumpanja kompresovanog vazduha u kabinu.

Statičko pražnjenje. Može doći do fenomena sličnom Vatri svetog Elma ili do pojave sjaja. U ovakvim slučajevima javljaju se plave varnice koje okružuju spoljašnjost vetrobrana ili beli sjaj na glavnim ivicama krila ili ispred usisnog dela motora.

7.2.3 Efekti

Dolazak u dodir sa vulkanskim pepelom može da rezultira *oštećenjem ili kvarom motora*.

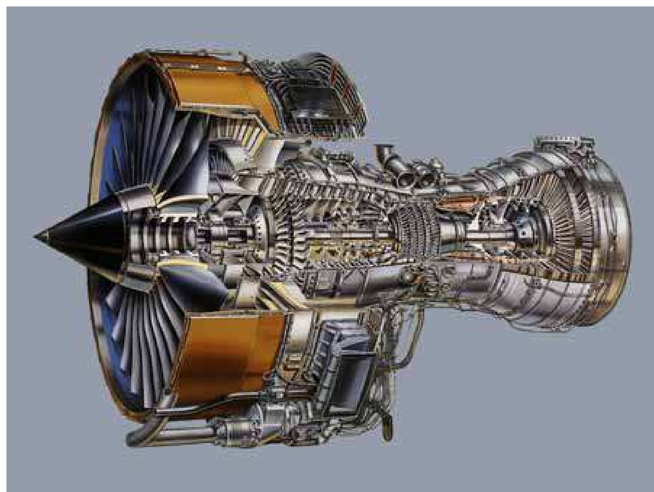
Kvar motora. Osnovni rizik tokom leta aviona kroz visoko koncentrisani vulkanski pepeo je topljenje čestica pepela unutar motora. Čestice su izgrađene većinom od silikata čija je tačka toljenja od 1100°C značajno manja od temperature na kojoj radi motor. Usisani silikatni pepeo se topi u toplom delu motora a onda odlazi u turbinu visokog pritiska, izaziva uzburkani rad motora što dovodi do prolaznog ili eventualno konačnog gubitka potiska u najozbiljnijim slučajevima. Ako su prisutne u velikim količinama, čestice vulkanskog pepela mogu da doprinesu kvaru motora jednostavnim taloženjem. U svakom slučaju, čestice koje zatvaraju protok vazduha do motora na kraju dovode do njegovog otkazivanja.

Dugoročno oštećenje motora. Abrazivni efekat čestica vulkanskog pepela može prouzrokovati hrapavost površine unutar turbine motora, koja, iako neće uticati na normalan dalji rad, rezultiraće smanjenom potrošnjom goriva. Takvo oštećenje je nemoguće popraviti, tako da je život oštećenog motora značajno skraćen.

Kada pepeo jednom dospe u motor (sl. 7.3), skoro je nemoguće otkloniti ga zbog njegove fine strukture, ni jedna količina ispiranja neće izbaciti sve čestice. On zagađuje sisteme filtriranja, električne i avio jedinice, a prateći aerosoli sumporne kiseline mogu da nagrizaju gumene delove.

---

[2] *Pitot-cev* je posebno konstruisana kratka i šuplja cev koja se postavlja sa spoljašnje strane aviona u smeru relativne struje vazduha. Kroz centralni otvor prikuplja se ukupno strujanje vazduha. Pomoću Pitot-cevi i statičkog otvora brzinomer aviona meri brzinu.



Sl. 7.3 Uticaj vulkanskog pepela na motor.

Korozija spoljnih površina. Pepeo može izazvati značajno oštećenje na oplati vazduhoplova ili na spoljašnjem delu vetrobrana. Ukoliko je udar pepela ozbiljan, abrazije na staklu mogu biti toliko jake da smanjuju vidljivost.

7.2.4 Primeri

Mount Sent Helens, SAD, 1980.

Avioni Boing 727 i DC-8 susreli su se sa odvojenim oblacima pepela tokom jedne od najvećih erupcija vulkana Sent Helens (sl. 7.4). Oba aviona su pretrpela oštećenja vetrobrana i nekoliko sistema, ali su i jedan i drugi sleteli bezbedno, uprkos oštećenjima vetrobrana.



Sl. 7.4 Mount Sent Helens, SAD.

Galunggung vulkan, Indonezija, 1982.

Krstareći na FL370, avion *Boing 747-200*, *Let 9 Britiš ervejza* (24. jun 1982.), na noćnom letu iz Kuala Lumpura za Pert, ušao je u gusti oblak vulkanskog pepela u blizini erupcije vulkana Galungung (sl. 7.5). Posada je primetila Vatru svetog Elma i oštar miris a prašina je ušla u kabinu kroz sistem klima-uređaja. Sva četiri motora su prestala sa radom i avion je počeo da se spušta. Kada se raščistio oblak pepela posada je uspela da uspešno uključi motore, ali zbog daljeg zastoja jedan od njih je bio isključen. Let je preusmeren, a avion je sa tri motora sleteo u Džakartu.



Sl. 7.5 Galunggung vulkan, Indonezija.

Mount Redoubt, Aljaska, 1989.

U nesreći iz 1989, Boing 747 se spustio više od dve milje u pet minuta dok je posada pokušavala da ponovo uključi motore. Putnici, njih 231, mogli su da osete miris vulkanskog sumpora iz pepela koji je dolazio iz vulkana Redaut (sl. 7.6), udaljenog oko 150 milja. Konačno, svi motori su bili ponovo uključeni i avion je sigurno sleteo u Enkoridž. Sva četiri motora su morala biti zamenjena.



Sl. 7.6 Mount Redoubt, Aljaska.

Mount Pinatubo, Filipini, 1991.

Pepeo erupcije vulkana Pinatubo na Filipinima (sl. 7.7) odleteo je više od 5000 milja na istočnu obalu Afrike. Erupcija je izbacila stub dima i pepela visok više od 19 milja i sadržala je toliku količinu materije da se kvalifikuje kao verovatno najveća erupcija 20. veka.



Sl. 7.7 Mount Pinatubo, Filipini.

Mount Popocatepetl, Meksiko, 1997.

Ovaj vulkan je uticao na nekoliko letova tokom 1997. i 1998. godine. Iako su oštećenja u većem broju slučajeva bila minimalna, jedna avionska posada je pretrpela značajno smanjenje vidljivosti tokom sletanja. Pored toga, aerodrom u Meksiko Sitiju bio je zatvoren i do 24 sata, u nekoliko navrata tokom kasnijih povremenih erupcija (sl. 7.8).



Sl. 7.8 Mount Popocatepetl, Meksiko.

Vulkan Eyjafjallajokull, Island, 15. april 2010.

Najveća erupcija vulkana u Evropi, koja je poremetila kompletan vazdušni saobraćaj u gotovo celoj Evropi, dogodila se na Islandu aprila 2010. godine. Erupcija vulkana na Islandu značajno je poremetila vazdušni saobraćaj hiljadama kilometara daleko, u celoj severnoj i zapadnoj Evropi, a otkazano je više od 4000 letova (sl. 7.9). Prvi letovi bili su otkazani uveče na dan erupcije, a kako se opasni oblak približavao Evropi, sukcesivno su zatvarane vazdušne luke. Jer, zbog oblaka vulkanske prašine, u koje su se uvukli i delići kamena i stakla, vidljivost je bila značajno smanjena, a postojala je mogućnost da se oštete motori aviona. Opasni oblak kretao se na visini od oko deset hiljada metara, gde su letelice najčešće.

Tako veliki uticaj na raspored avionskih linija je neuobičajen, jer se pepeo obično pojavljuje daleko od najprometnijih vazdušnih prostora. Vulkanski pepeo koji je strujao preko Atlantika doveo je do otkazivanja letova u Britaniji i ugrozio avio-saobraćaj širom Severne Evrope. Letovi za i iz londonskog Hitroa, najprometnijeg aerodroma u Evropi, su zaustavljeni a otkazivanje i odlaganje letova se proširilo na Francusku, Belgiju, Holandiju, Dansku, Irsku, Švedsku, Finsku i Švajcarsku.

Oblak vulkanskog pepela nalazio se na visini između 6000 i 11000 m. Meteorolozi kažu da je oblak ušao u vazdušnu struju koja je nastavila da ga nosi ka jugoistoku. Letovi su obustavljeni zbog straha da bi pepeo mogao da uđe u avionske motore. Stručnjaci su prognozirali da je aviosaobraćaj mogao da bude poremećen i nekoliko dana, sa povremenim problemima čak i tokom narednih šest neseci.

Britanska služba za kontrolu vazdušnog saobraćaja izdala je uputstvo za otkazivanje letova posle upozorenja meteorološke službe o približavanju oblaka pepela, koji bi mogao znatno da smanji vidljivost i koji predstavlja opasnost za avionske motore.



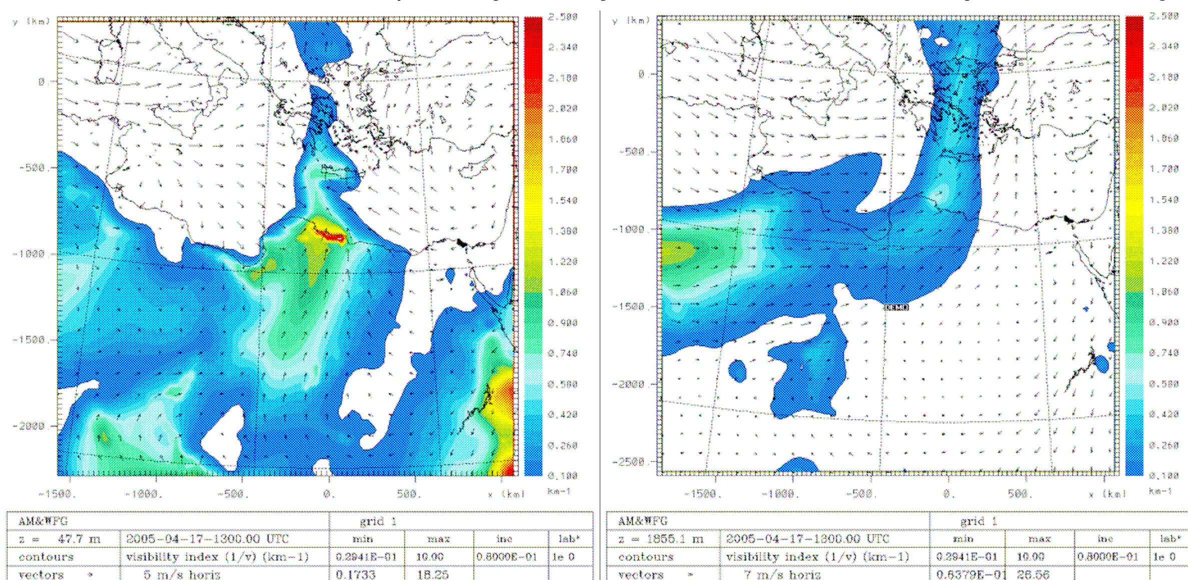
Sl. 7.9 Vulkan Eyjafjallajokull, Island.

7.3 PEŠČANA PRAŠINA

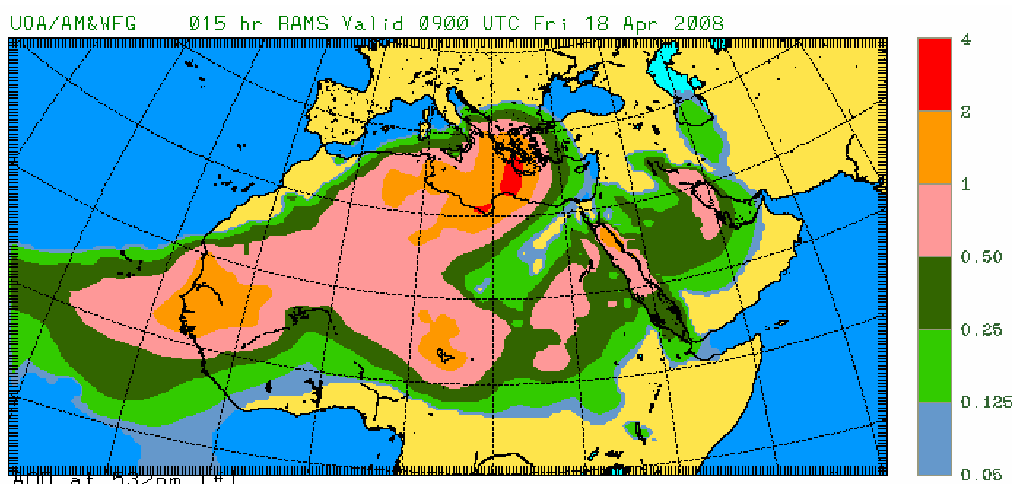
7.3.1 Ciljevi, preduslovi i vidljivost

Glavni cilj je upozoriti na potencijalne probleme koji mogu biti povezani sa letom vazduhoplova kroz oblasti sa dosta peščane prašine. Operativne procedure, propisane u posebnom priručniku proizvođača vazduhoplova se moraju uzeti u obzir, posebno prognoze kvantiteta peščanih masa duž ruta, a naročito u blizini mesta poletanja i sletanja.

Moguće su prognoze količine peščanih masa u atmosferi, uprkos nesigurnostima koje su povezane sa tim (sl. 7.10, 7.11). Pomoću takvih prognoza, područje, vreme i količina progutane peščane prašine mogu biti izračunati za određenu putanju leta. Prognoza kretanja peščanih masa se koristi za: *direktne informacije* o trenutnoj koncentraciji peska za procenu broja čestica ubačenih u motor; i *indirektne informacije* o vidljivosti i meteorološkom stanju sektora letenja.



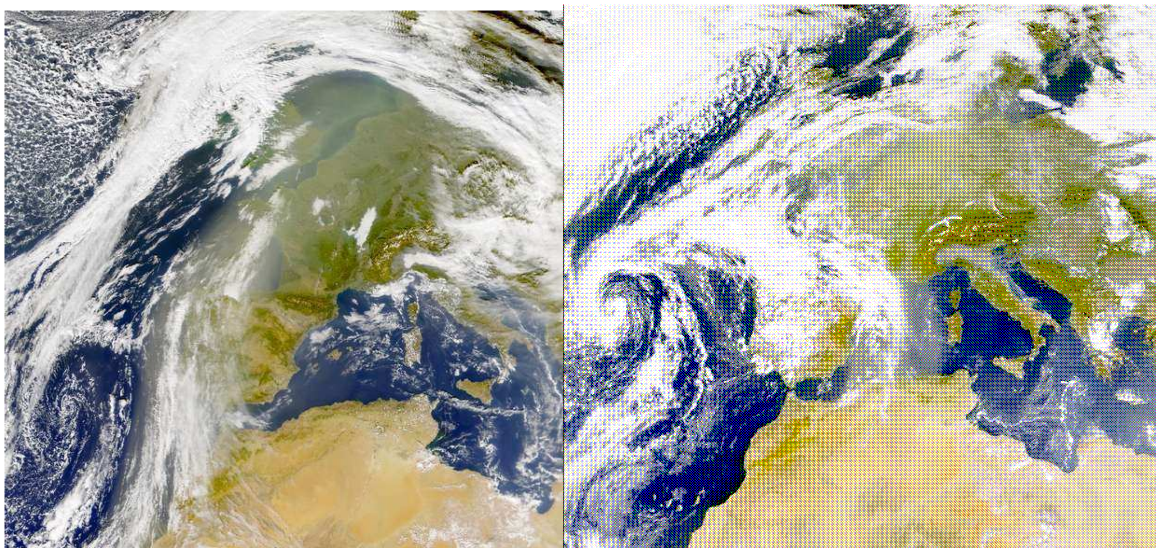
Sl. 7.10 Vidljivost u prizemlju (levo) i na 2 km (desno).



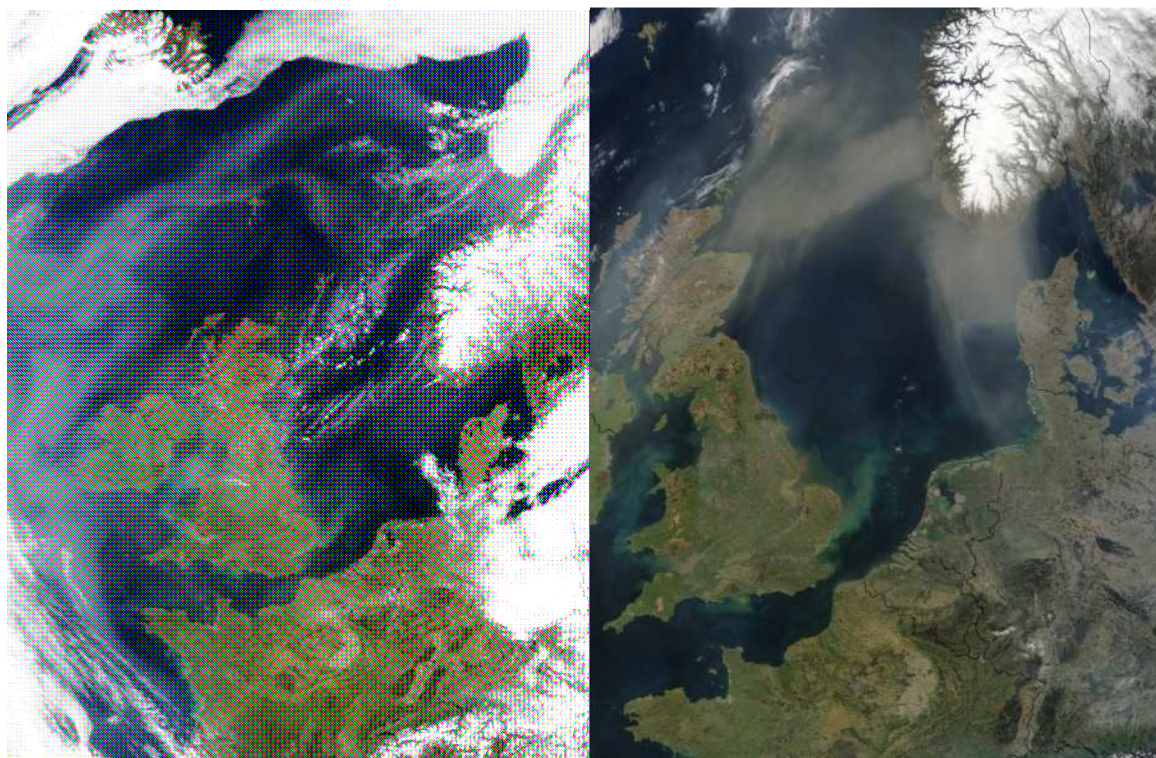
Sl. 7.11 Optička dubina aerosola.

7.3.2 Geografske oblasti na koje kretanje peščanih masa ispoljava uticaj

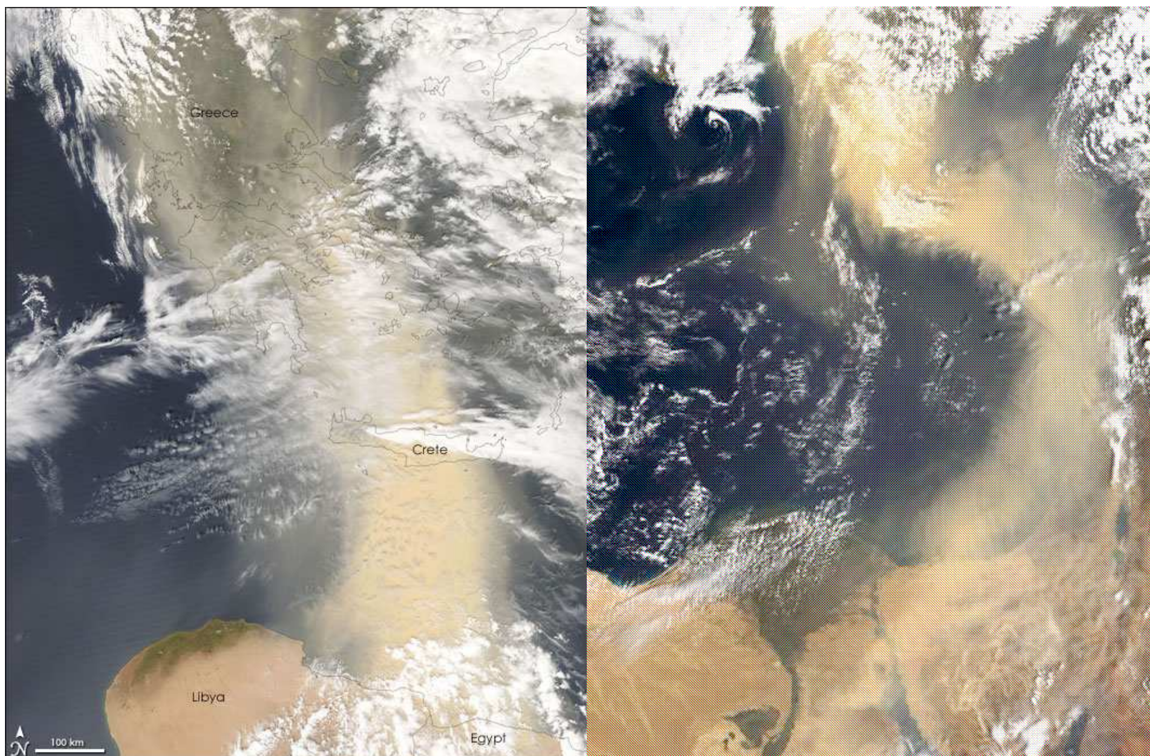
Pustinjska područja su glavni izvor prašine i peska u atmosferi i prekrivaju značajan deo Zemlje. Pustinjski pesak je glavni izvor čestica u atmosferi koji se manifestuje sa nekoliko loših uticaja. Zbog atmosferske cirkulacije i velikih prostranstava do kojih se raznosi pesak, problemi vezani za pustinjsku prašinu su postali globalni (sl. 7.12 – 7.14, NASA/GSFC satelit).



Sl. 7.12 Prašina nad Evropom.



Sl. 7.13 Prašina nad Severnim morem.

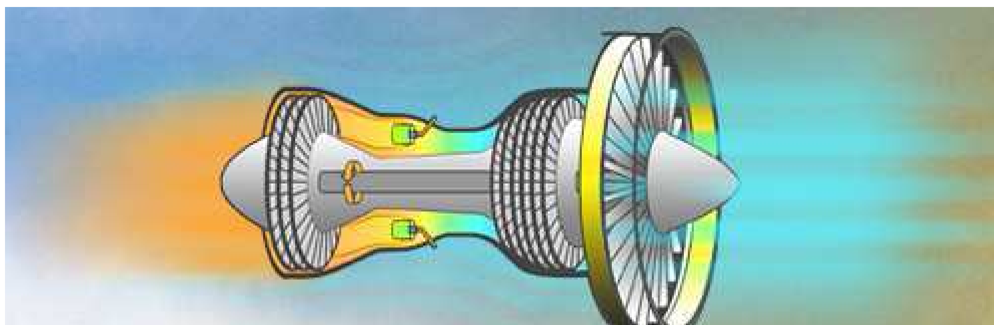


Sl. 7.14 Prašina nad Grčkom i Mediteranom.

7.3.3 Problemi koje izaziva peščana prašina

Prašina može da izazove značajne probleme u avijaciji, kao što su:

- Preusmeravanje leta zbog loše vidljivosti.
- Poremećaji u poslovanju aerodroma.
- Mehanički problemi, kao što su erozija i korozija.



Sl. 7.15 Mlazni motor

Čestice peska se sabijaju i odskaču u hladnim delovima motora (sl. 7.15) čime prouzrokuju površinska oštećenja i povećanja šupljina, što dovodi do pogoršanja protoka gasa i postepenog smanjenja rada motora.

Ako vruće čestice peska dospeju na tople površine (zidovi komore za sagorevanje, lopatice turbine), mogu formirati naslage hrapavih površina što ometanjem protoka može dovesti do

ubrzanog smanjenja učinka motora (potencijalni rizik tokom poletanja i sletanja). Ove naslage takođe mogu dovesti do termalne korozije neke od komponenti motora, blokiranjem otvora za hlađenje.

Treba razumeti fiziku peščane erozije i korozije radi adekvatnog prilagođavanja:

- dizajna motora,
- postupaka održavanja,
- procedure poletanja i sletanja.

Kada je poznata koncentracija čestica prašine, mogu se ustanoviti erodirana površina ili oblik naslage koja se formirala, što je značajno radi određivanja kritičnih područja motora, kao i parametara koji su doveli do kratkoročnog ili dugoročnog gubitka učinka motora.

Slični problemi mogu se naći na aerodromima koji se nalaze na priobalnim područjima zbog unošenja čestica morske soli nastalih isparavanjem kapljica vode, stvorenih udaranjem talasa o kopno.

7.4 SAHARSKI PESAK NA EVROPSKOM NEBU

Nebo nad južnom Engleskom bilo je maglovito u petak 8. aprila 2011. Uveče nisu bile vidljive uobičajene boje koje prate zalazak Sunca. Smeđe-sivi oblak prašine mogao se videti duž horizonta. Uzročnik te izmaglice bio je pesak iz Sahare (sl. 7.16).



Sl. 7.16 Saharska prašina nad Biskajskim zalivom, Lamanšom i Irskom (levo)i obalom Portugalije (desno).

Pesak iz Sahare se može podići do velikih visina saharskog vazdušnog sloja (SAL - Saharan Air Layer) a potom ga vetrovi raznose do udaljenih zemalja i mora. Oblak peščane prašine kretao se iznad Atlantika praveći izmaglicu na nebu iznad Portugalije, Španije, Francuske, Velike Britanije i Irske.

Iako je peščana prašina abrazivna, predstavlja manju pretnju za vazduhoplove od vulkanske erupcije. Dok se vulkanska prašina topi u motoru aviona i prekriva pokretne delove, pesku je potrebna viša temperatura da bi se otopio, pa zato jedva prolazi kroz mlazni motor. U slučaju klipnih motora, u vazduhu ili na Zemlji, pustinjska prašina brzo može začepiti vazdušne filtere. Posledice mogu biti različite, od usporavanja rada motora do jednostavne potrebe za češćom zamenom vazdušnih filtera.

7.5 ZAKLJUČNE NAPOMENE

Prirodne čestice utiču na avijaciju pogoršavanjem uslova letenja (smanjenom vidljivošću, formiranjem magle).

Abrazivni vulkanski pepeo može da peščanim mlazom ošteti vetrobran aviona, blokira mlaznice goriva, zagadi sistem ulja i elektronike i zapuši cevi koje mere aviobrzinu. Ipak, najkonkretnija opasnost preti motorima, koji su kao ogromni usisivači pa ako se nađu u oblaku vulkanskog pepela, usisavaju sav taj pepeo što upravo dovodi do oštećenja. Nanosi čestica mogu pokriti temperaturne senzore sistema za gorivo, zavaravajući ih da motor radi na nižoj temperaturi nego što jeste. Tako sistem uzima više goriva, dižući temperaturu i oštećujući turbine, što takođe može dovesti do prestanka rada motora.

Više od 60 aviona je otpisano zbog oštećenja pepelom. Iz tog razloga svet je podeljen na devet regiona od kojih svaki ima sopstveni Centar za savetovanje o vulkanskom pepelu (sl. 7.17).



Sl. 7.17 Centri i oblasti odgovornosti za vulkanski pepeo u atmosferi.

Prirodne čestice mogu umanjiti performanse motora erozijom i korozijom.

Za zemlje južne Evrope važan adut je prognoziranje peščanih oluja. Rano predviđanje oluja dovodi do bolje organizacije avio saobraćaja i povećanja sigurnosti letenja. Detaljnim predviđanjem koncentracije prašine tokom leta aviona moguće je izračunati ukupno izlaganje motora prašini, te modifikovati program održavanja, uzimajući u obzir umanjene performanse motora zbog unetih peščanih masa tokom leta i proceniti mogući nagli gubitak učinka rada motora.

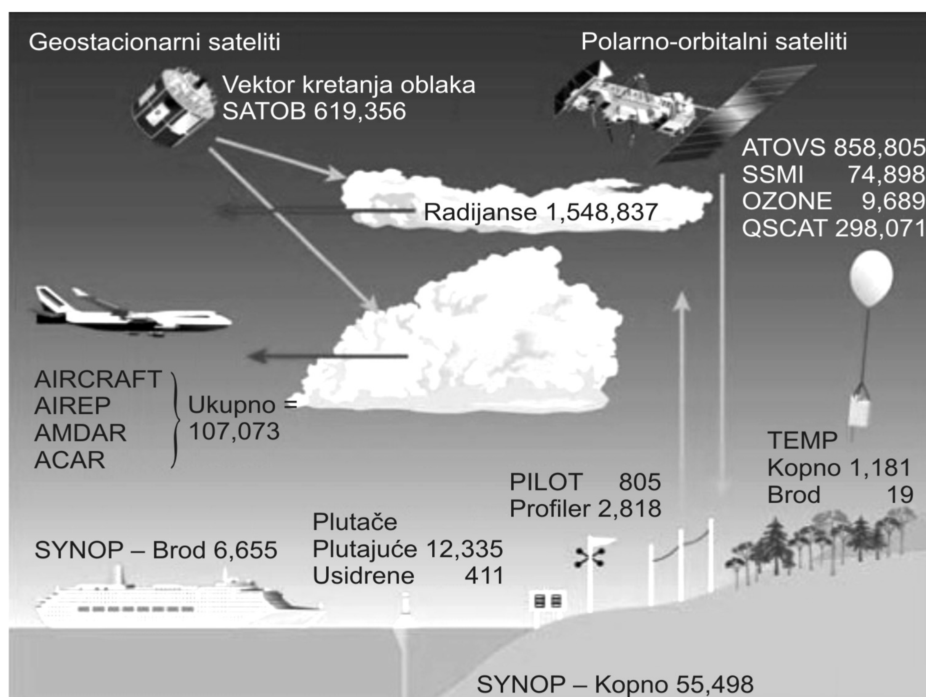
8. IZVORI METEOROLOŠKIH INFORMACIJA ZA POTREBE VAZDUHOPLOVSTVA

Za meteorološko obezbeđenje vazduhoplovstva neophodno je pribaviti veliki broj osmotrenih meteoroloških informacija. Njihovu osnovu čine podaci osmotreni na vazduhoplovnim meteorološkim i sinoptičkim stanicama. Vođama vazduhoplova, kontroli letenja i ostalim stručno-tehničkim službama koje u svom radu koriste meteorološke informacije, dostavljaju se u određenom obliku ili prilagođene za praktičnu upotrebu.

Kao izvori iz kojih se obezbeđuju meteorološke informacije smatraju se:

- prizemne meteorološke stanice na kopnu;
- stalne i ploveće meteorološke stanice na brodovima;
- automatske meteorološke stanice;
- meteorološki uređaji na aerodromima;
- meteorološki radari;
- meteorološki avioni (laboratorije);
- meteorološki sateliti.

Svaki od navedenih izvora meteoroloških informacija ne može se smatrati univerzalnim i zbog toga se u praksi koriste svi izvori meteoroloških informacija.



Sl. 8.1 Pregled svih raspoloživih globalnih podataka tokom 24 časa.

8.1 INFORMACIJE SA PRIZEMNIH I VISINSKIH METEOROLOŠKIH STANICA

Informacije sa meteoroloških stanica na kopnu odlikuju se velikom tačnošću osmatranja ali njih, prema potrebama za praćenje meteoroloških procesa u atmosferi i prognoziranje vremena, ni danas nema dovoljno. Nedostatak je i to što one nisu ravnomerno raspoređene u prostoru. Najmanje ih ima u planinskim oblastima, pustinjama, okeanima i morima.

Na okeanima, meteorološka osmatranja vrše se na specijalnim brodovima, ali broj ovih osmatranja je za pet puta manji od osmatranja koja se vrše na kopnu koje je dva puta po površini manje od svih okeana.



Sl. 8.2 Globalna mreža sinoptičkih meteoroloških stanica na Zemljinoj površini.

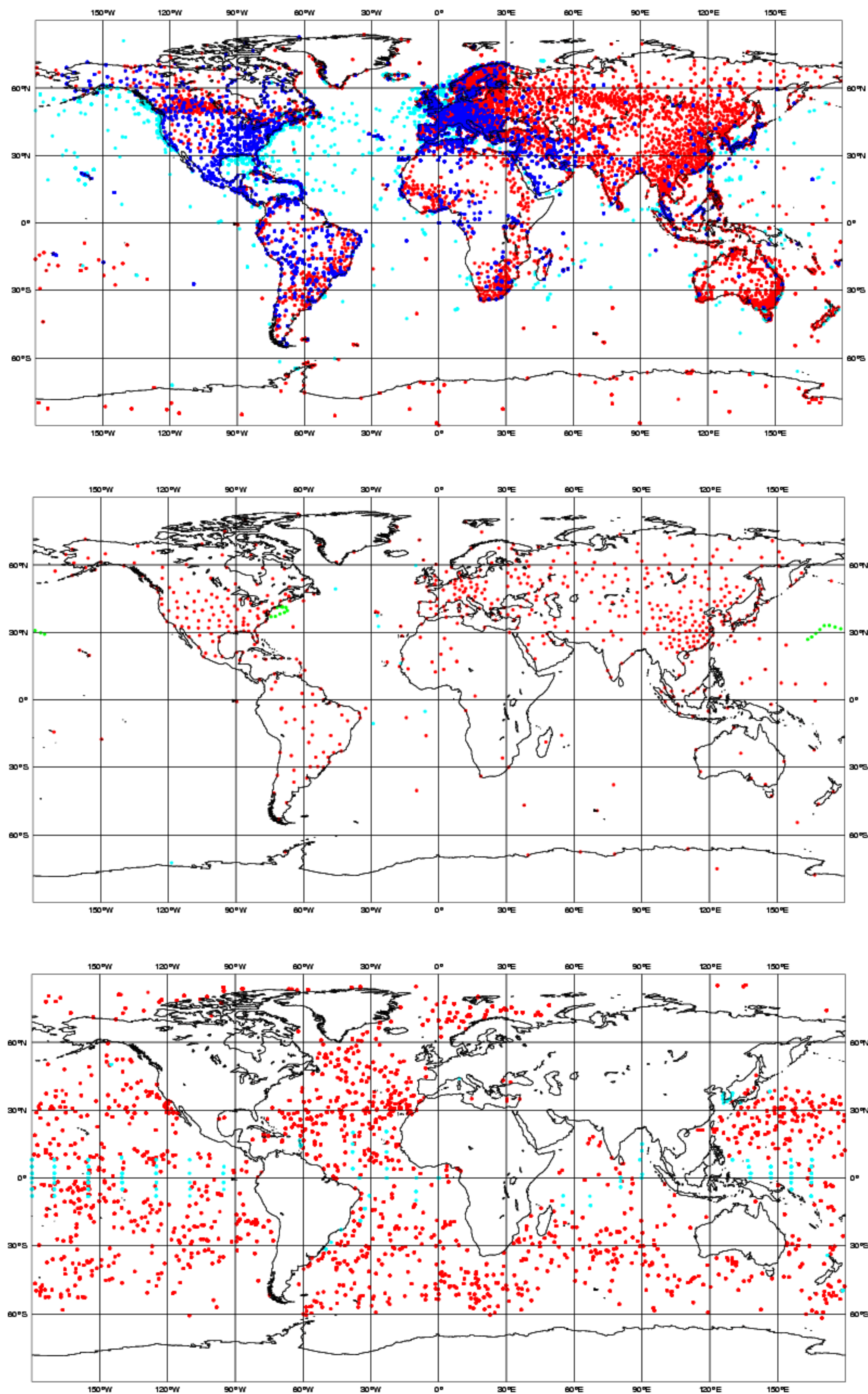
Visinske meteorološke stanice vrše merenja određenih meteoroloških elemenata do određenih visina. To su stanice ravisondažne, radiosondažne, radiovetar i pilot balonske. Mreža visinskih meteoroloških stanica na Zemljinoj površini je relativno retka i neravnomerno raspoređena u prostoru. Od svih visinskih meteoroloških stanica samo 10% vrši sondiranje atmosfere do visine 30 do 40 km i to su uglavnom aerološke stanice. Ostale visinske stanice sondiraju atmosferu na manjim visinama. Treba primetiti da se 50% aeroloških stanica nalazi u pojasu između 30 i 50° severne geografske širine.

Prema napred iznesenim činjenicama može se zaključiti da izvori dobijanja meteoroloških informacija samo sa prizemnih i visinskih meteoroloških stanica ne mogu da zadovolje meteorološku praksu, a pogotovo kada je u pitanju meteorološko obezbeđenje vazdušnog saobraćaja.

U poslednjim godinama, na mestima koja su nepristupačna za organizovanje meteoroloških stanica, formiran je veliki broj automatskih meteoroloških stanica koje radioputem u određenim terminima šalju podatke o osnovnim meteorološkim elementima i pojavama.

8.2 METEOROLOŠKE INFORMACIJE KOJE SE DOBIJAJU NA AERODROMIMA

Svaki aerodrom, pored navigacione tehničke opreme treba da bude opremljen i sa meteorološkim instrumentima i savremenim uređajima preko kojih se obezbeđuju meteorološki podaci i mnoge informacije za potrebe korisnika u vazdušnom saobraćaju. Vazduhoplovne meteorološke stanice, pored vazduhoplovnog programa osmatranja, vrše osmatranja kao i sve sinoptičke meteorološke stanice. Naravno, vazduhoplovne meteorološke stanice, u prvom planu, svoja



Sl. 8.3 Geografska raspodela raspoloživih SYNOP/SHIP (gore), TEMP (sredina) i BUOY (dole) osmatranja (www.ecmwf.int).

osmatranja baziraju na programima i potrebama vazduhoplovstva. Pored niza drugih, kao najznačajniji meteorološki elementi i pojave koje koriste vazduhoplovi smatraju se: temperatura vazduha, vetar, vazdušni pritisak, vidljivost, oblačnost, grmljavinski procesi, smicanje vetra, turbulencija i padavine, naročito ledene.

Temperatura vazduha. Vrednosti temperature vazduha (sl. 8.4) moraju biti reprezentativne za zonu poletno-sletne staze a izražavaju se u stepenima skale Celzijusa (°*C*). U izveštajima u otvorenom tekstu sa skraćenicama, temperatura vazduha označava se sa T.



Sl. 8.4 Higeotermometar.

Prizemni vetar. Pri merenju prizemnog vetra određuje se njegov srednji pravac i srednja brzina kao i značajne promene pravca i brzine vetra. Za izveštaje za poletanje aviona, osmatranja prizemnog vetra treba da budu reprezentativna za područje penjanja, a za izveštaje za sletanje, osmatranja moraju biti reprezentativna za zonu dodira poletno-sletne staze.

Reprezentativna osmatranja vetra treba da se vrše pomoću jednog ili više uređaja – anemometara (sl. 8.5) propisno postavljenih prema lokalnim uslovima. Jedan indikator prizemnog vetra – na primer, pisač i registrator, a po potrebi i više njih, postavljaju se u vazduhoplovnoj meteorološkoj stanici, a odgovarajući indikatori u prostorijama aerodromske kontrole letenja i prostorijama dežurnih meteorologa. Indikatori u vazduhoplovnoj meteorološkoj stanici i aerodromskoj kontroli letenja povezuju se istim mernim instrumentom (anemometrom i anemografom).



Sl. 8.5 Anemometar.

Period osmatranja prizemnog vetra za izveštaje koji se prosleđuju izvan aerodroma treba da bude 10 minuta, a za izveštaje koji se koriste na aerodromu za poletanje i sletanje i za indikatore aerodromske kontrole letenja, dva minuta. Varijacije oko srednje brzine vetra (rafali vetra) za vreme proteklih deset minuta treba izveštavati samo ako je promena oko srednje brzine veća od deset čvorova.

U izveštajima u obliku otvorenog teksta sa skraćenicama daju se pravac i brzina vetra i njihove značajne promene. Jedinice upotrebljene za brzinu treba da su čvorovi i ne moraju u poruci da se označe. U slučaju da se ne koriste jedinice u čvorovima tada ih u izveštajima treba označiti.

Promene srednje brzine prizemnog vetra u izveštaju treba označiti pomoću maksimalnih i minimalnih vrednosti brzine u čvorovima u obliku MAX ili MIN. Kada je vreme bez vetra ono treba da se označi sa CALM. U izveštajima za poletanje, slab promenljiv prizemni vetar od pet čvorova ili manje i promene pravca vetra od 180° treba označiti u obliku VRB.

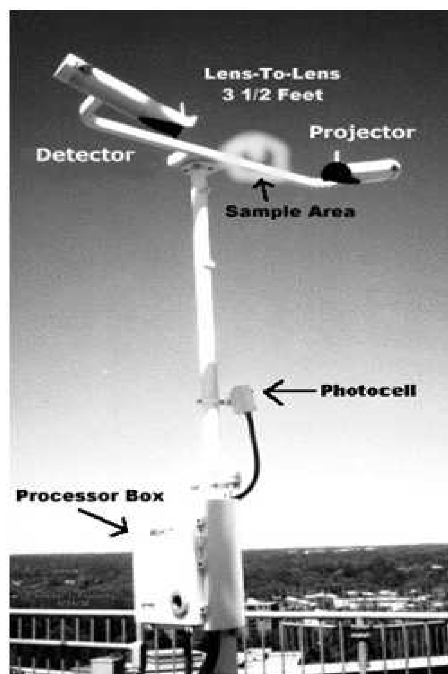
Karakteristike vetra na aerodromu mere se anemometrom. Za vazduhoplovne potrebe, ovi uređaji se postavljaju na početku i kraju poletno-sletne staze (a ako je potrebno i na njenoj sredini) u blizini transmisiometra. Anemometri imaju osobinu daljinskog prenosa izmerenih podataka o pravcu i brzini vetra kako u trenutku osmatranja tako i osrednjene vrednosti za vremenski period od 2 sekunde, 2 minuta i 10 minuta. Ovi uređaji prikazuju takođe maksimalnu i minimalnu brzinu vetra kao i sektor iz koga ovi vetrovi duvaju.

Vazdušni pritisak. U postupcima vazdušne plovidbe vazdušni pritisak predstavlja veoma važan meteorološki elemenat. Međutim, od njegovih brojnih varijacija u praksi letenja koriste se samo neke od njih. Pomoću vazdušnog pritiska vođe vazduhoplova određuju visinu letenja i kontrolišu funkcionisanje instrumenta altimetra. Vrednostima vazdušnog pritiska na sinoptičkim kartama uočavaju se meteorološki sistemi kao što su cikloni, anticikloni i ostale barske tvorevine koje uslovljavaju specifičnosti letenja. U vazduhoplovstvu se takođe koriste i drugi oblici vazdušnog pritiska kao što su: *vazdušni pritisak na nivou mora* (QNH), *vazdušni pritisak na nivou poletno-sletne staze ili meteorološke stanice* (QFE), tendencija vazdušnog pritiska i gradijent pritiska.

Vidljivost. Vidljivost se smatra jednim od najznačajnijih meteoroloških elemenata za vazduhoplovstvo. Postoji niz varijacija vidljivosti kao što su: daljina vidljivosti duž poletno-sletne staze (RVR Runaway Visual Range), meteorološka daljina vidljivosti, kosa vidljivost, vertikalna vidljivost, vidljivost vazduha – Zemljina površina i dr. U vazduhoplovnoj praksi najčešće se koriste prve tri varijante pomenutih vidljivosti (sl. 8.6).

Neposredno određivanje vidljivosti realnih objekata, uopšte, pa i na aerodromu, veoma je težak zadatak naročito kada je u pitanju vidljivost duž poletno-sletne staze (RVR). Razlog je u tome što se vidljivost javlja funkcijom više komponenata koje su veoma promenljive i ne mogu se precizno odrediti. To su: geometrijski oblik i veličina objekta, njegova osvetljenost i boja, jarkost objekta i njegove pozadine (kontrasna osetljivost oka osmatrača) i prozračnost atmosfere.

Oblačnost. Stvarno stanje oblačnosti karakteriše se količinom, oblikom i visinom donje baze. Oblik i količina oblaka često su promenljive veličine te se pri meteorološkom obezbeđenju letenja, kao informacije, moraju meriti. Pri potpunoj oblačnosti, oblik oblaka je stabilan ali je njegova visina veoma promenljiva.



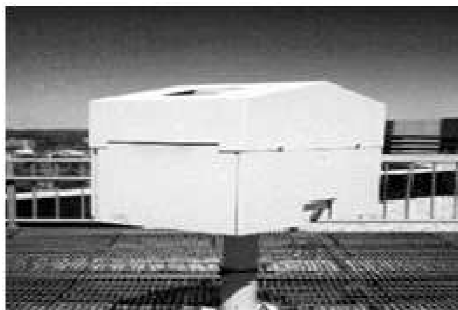
Sl. 8.6 Senzor za brzo detektovanje opsega vidljivosti.

Visina donje baze oblaka pri meteorološkom obezbeđivanju letenja, određuje se instrumentalno na osnovu različitih metoda merenja. Visina oblaka može se određivati i pomoću avionskih izviđanja, preko visokih repera, korišćenjem obrazaca za tačku rose itd. Količina, vrsta i visina baze oblaka treba da se osmatra prema potrebi sa ciljem da se opiše opšta rasprostranjenost oblaka. Osmatranja oblaka za izveštaje za sletanje mora da su reprezentativna za prilaznu zonu vazduhoplova. Seilometri za merenje visine oblaka postavljaju se u blizini srednjeg markera. Podaci o oblacima za izveštaje koji se prosleđuju izvan aerodroma takođe moraju biti reprezentativni za aerodrom i njegovu okolinu. Kada iznad aerodroma postoji više nivoa oblaka ili oblačnih masa, tada se oni izveštavaju sledećim redom:

– najniži sloj ili masa, bez obzira na količinu:
– sledeći sloj ili masa, koji pokriva više od 2/8 neba;
– sledeći sloj ili masa, koji pokriva više od 4/8 neba;
– Cb kad god su osmotreni ako nisu dati u unapred navedenim slučajevima.

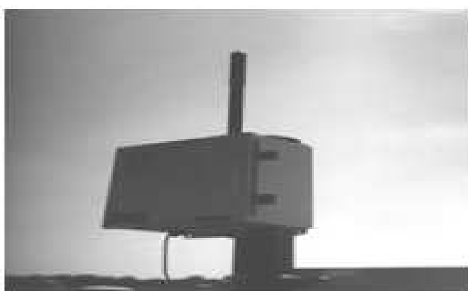
Uređaj za određivanje visine oblaka naziva se *seilometar*. Najčešće je u upotrebi laserski seilometar kombinovan na bazi galijuma i arsenid elemenata (sl. 8.7). Ovaj uređaj meri visinu oblaka na dva potpuno odvojena nivoa i određuje vertikalnu vidljivost. Seilometar može da izmeri visinu oblaka do 3000 metara, a postavlja se u blizini srednjeg markera u zoni aerodroma. Uređaj raspolaže kontrolnom kompjuterskom jedinicom, prijemnikom i pokazivačima i može da radi samostalno ili u sastavu kompleksnog sistema za automatska meteorološka osmatranja.

Uređaji koji funkcionišu na bazi različitih metoda merenja, mogu prikazivati različite vrednosti visine oblaka. U slučajevima kada se izveštaji o bazi oblaka, dobijeni sa aviona i putem uređaja razlikuju, tada se uređajem još jednom mora izvršiti merenje visine oblaka (Čobanov, 1992).



Sl. 8.7 Laserski snop ceilometar.

Grmljavinski procesi. U novije vreme u sistem za automatska meteorološka osmatranja koriste se i automatski senzori za otkrivanje postojanja grmljavinskih procesa u donjim delovima atmosfere (sl. 8.8).



Sl. 8.8 Senzor električnih pražnjenja.

U SAD proizveden je LIP automatski uređaj za otkrivanje grmljavina i prezentiranje izveštaja o prisutnosti ili odsutnosti grmljavina u široj zoni aerodroma, njihovom položaju, intenzitetu i kretanju. Ovaj uređaj je u sastavu sistema za automatska meteorološka osmatranja ASOS (Automated Surface Observing System**)** i može da otkriva grmljavinske procese do 160 km. Uređaj je snabdeven mikroračunarom za kontrolu rada (sakupljanje i transmisiju podataka), radi permanentno i svoje podatke direktno predaje vazduhoplovnoj meteorološkoj službi na aerodromu, kontroli letenja i vođama vazduhoplova u letu.

Smicanje vetra. U vazduhoplovnoj meteorološkoj praksi za određivanje horizontalnog i vertikalnog smicanja vetra u zoni poletno-sletne staze koriste se uređaji u vidu posebnih stanica. Jedan od pouzdanih uređaja za određivanje horizontalnog i vertikalnog smicanja vetra, koji se može priključiti u sistem za automatska meteorološka osmatranja, jeste MIDAS AWS (Automatic Wind Shear Station) Finske proizvodnje.

MIDAS AWS stanica određuje vertikalno smicanje vetra na tri nivoa 10, 30 i 60 metara, a horizontalno smicanje vetra sa četiri tačke. Osrednjavanje vetra vrši se za period od 2 i 10 minuta dok se pravac i brzina vetra određuju svakih 4 sekunde. Maksimalne i minimalne vrednosti vetra pokazuju se svakoga minuta. Ove vrednosti neprekidno se prenose računarom.

Vrednosti gradijenta vetra se izračunavaju svakog minuta na svim nivoima a u slučaju da dođe do prekoračenja zadatih vrednosti elemenata vetra automatski se uključuje za svaki senzor alarmni uređaj. Horizontalno smicanje vetra se određuje sa četiri senzora i to u vremenskom periodu od 60 sekundi. Srednje vrednosti i odstupanja pravca i brzine vetra za sve senzore prikazuju se grafički i numerički na konzoli operatora. Alarmni uređaji su takođe povezani na konzoli. Svi podaci automatski se beleže.

Pri otkrivanju smicanja vetra na aerodromu, danas se koriste Doplerovi radari kao i radarski sistemi NEXRAD (**Nex**t-Generation **Rad**ar) koji omogućavaju da se dobije trodimenzionalna slika smicanja vetra.

U operativnoj praksi meteorološke bezbednosti vazdušne plovidbe koriste meteorološki uređaji koji mogu određivati više meteoroloških elemenata značajnih za vazduhoplovstvo. Jedan od takvih uređaja kojim je moguće određivati niz meteoroloških podataka jeste fiksirani ili mobilni mini Doplerov Sodar akustički radar (SODAR - **SO**nic **D**etection **A**nd **R**anging). Ovaj radar izlučuje u atmosferu zvučne pulsacije putem tri antene usmerene u raznim pravcima koje se mogu pojedinačno aktivirati. Svaka antena ujedno služi kao predajnik i prijemnik zvučnih pulsacija. Zvuk se upućuje u atmosferu sa određenom frekvencijom i koristeći Doplerov efekat nakon njegovog prijema, dobijaju se izračunate vrednosti profila vetra. Srednja antena putem intenziteta zvučnog talasa otkriva strukturu turbulencije u donjim slojevima atmosfere. Ako se mini Doplerov akustični radar kompletira sa računarom, tada se mogu obezbediti podaci o inverziji temperature, vidljivosti, maglama i zamućenjima atmosfere, termičkoj stratifikaciji, vertikalnim brzinama vetra, smicanju vetra i niskim mlaznim strujama iznad šire zone aerodroma. Većinu određenih meteoroloških elemenata radar je u stanju da prikaže sa zarlaganjem od 15 do 30 metara i u vremenskim intervalima oko jednog minuta.

8.2.1 Sistemi za automatska meteorološka osmatranja na aerodromima

Kompletne meteorološke informacije za potrebe vazdušnog saobraćaja dobijaju se preko sistema automatskih kontrolno-mernih uređaja sa daljinskim indikatorima koji pokazuju vrednosti vetra, vidljivosti na poletno-sletnoj stazi, visine donje baze oblaka a kada tehničke mogućnosti dozvoljavaju, i druge meteorološke parametre koji utiču na poletanje i sletanje vazduhoplova. Pomenuti sistemi, pored osmatranja, merenja i registrovanja meteoroloških elemenata, vrše obradu dobijenih podataka, njihovu transmisiju i arhiviranje.

Danas je u praktičnoj upotrebi veći broj tipova sistema za automatska meteorološka merenja i osmatranja, ali svi oni moraju da zadovolje određene kriterijume koji su propisani od strane Svetske meteorološke organizacije. Pomenuti kriterijumi se odnose kako na položaj senzora u zoni poletno-sletne staze na aerodromu tako i na preciznost merenja meteoroloških elemenata.

Sistem za automatska meteorološka osmatranja je kompjuterizovan i poseduje sledeće tehničke karakteristike:

- određuje donju bazu oblaka, vidljivost duž poletno-sletne staze, pravac i brzinu vetra, vrednost vazdušnog pritiska (QNH i QFE) kao i ostale meteorološke parametre: temperaturu i vlažnost vazduha, padavine, smicanje vetra i turbulenciju u prizemnim slojevima atmosfere iznad zone aerodroma;
- poseduje softverska rešenja za uključivanje automatske kontrole rada svih vitalnih delova sistema;
- određivanje vidljivosti vrši upotrebom transmisiometra;
- omogućuje razne vrste arhiviranja podataka: na digitalnu kasetu, ispisivanje na teleprinteru, direktni zapis na analogne rekordere, prenos na veći računar i dr.;
- sistem omogućava distribuciju podataka na sva mesta na aerodromu gde se koriste;

- prenos tekstualnih poruka vrši se automatski a raspolaže sa optičkim i akustičkim alarmima koji se uključuju kod podešenih graničnih vrednosti pojedinih meteoroloških elemenata;
- sadrži automatsko napajanje strujom kod nesigurnog rada sistema i u slučajevima smetnji i prekida mrežnog napajanja;
- otkriva položaj i određuje intenzitet grmljavinskih procesa u široj zoni aerodroma – do 160 km;
- automatski beleži udare vetra i podešava (kontroliše) altimetar instrumente;
- u slučaju potrebe intervencija, kvarova i grešaka na pojedinim senzorima, sistem omogućuje i ručno ubacivanje podataka u centralnu jedinicu;
- osmotrene i izmerene meteorološke elemente sistem prenosi terminalnim punktovima u vidu kodiranih izveštaja ili putem sintetizovanog govora koji mogu da se, preko specijalnog odašiljača, direktno transmituju kontroli letenja, vazduhoplovnoj meteorološkoj službi ili vođama vazduhoplova u letu.

8.3 METEOROLOŠKI RADARI

Jedan od veoma važnih izvora meteoroloških informacija jesu meteorološki radari koji koriste reflektovane signale od onih delova troposfere gde se indeks refrakcije brzo menja usled padavina, oblaka i pražnjenja, te tako omogućava otkrivanje i lokaciju ovih pojava. Primenom savremene tehnologije moderni meteorološki radari, uz pomoć kompjuterizovane tehničke obrade, obezbeđuje slike oblaka i padavina i njihovog intenziteta u realnom vremenu na širokom prostoru u radijusu od više stotina kilometara od samog radara (Čobanov, 1992).

Oblasti primene meteorološkog radara su mnogostruke. Radarski podaci se koriste u sinoptičkoj meteorologiji, hidrologiji, klimatologiji, protivgradnoj odbrani, pomorskom saobraćaju i mnogim naučnim istraživanjima. Posebno su aktuelni radarski podaci pri meteorološkom obezbeđivanju vazdušnog saobraćaja.

Najveću opasnost po bezbednost vazdušnog saobraćaja predstavljaju dobro razvijeni oblaci Cb. Zato je samo prognostičar koji je informisan o položaju, kretanju i evoluciji ovih oblaka u stanju da konsultuje vođu vazduhoplova u pogledu izbora profila leta i linije leta za izbegavanje oblaka tipa Cb. Smatra se da su meteorološke radarske informacije naročito korisne za vođe vazduhoplova u sledećim slučajevima:

- pri instrumentalnom prilaženju na sletanje na aerodrom;
- pri pripremi vođe vazduhoplova za let;
- pri poletanju i penjenju na zadatu visinu (nivo leta);
- pri letenju na vazdušnoj liniji u zoni osmatranja radara.

Za potrebe meteorološkog obezbeđenja vazdušnog saobraćaja, meteorološki radari treba da obezbede sledeće informacije:

- položaj, horizontalno i vertikalno prostiranje srednje i jako razvijenih konvektivnih oblaka i nepogoda (oluja);
- položaj, vrstu i intenzitet padavina (grad, kiša, sneg);
- položaj, debljinu sloja i intenzitet turbulencije (u oblacima i u vedrom vremenu – CAT);
- položaj atmosferskih pražnjenja (munja) i ledenih kristala;

– položaj vedrina između oblaka, ili zona oblaka u kojima se očekuje manja aktivnost – turbulentnosti ili zaleđivanja.

Radari danas rade na različitim talasnim dužinama što zavisi od njihovih namena. Na talasnim dužinama od 23 cm (L područje) radari rade na zadatku vazdušnog osmatranja i javljanja. Pri ovim talasnim dužinama elektromagnetna energija trpi zanemarljivo mala slabljenja od padavina i oblačnih kapljica.

Radari talasnih dužina od 10 cm (područje S) najčešće se koriste u meteorologiji iz razloga što oni dobro otkrivaju zone umerenih i jakih padavina i zone akumulacije. Slabljenje od padavina je praktično zanemarljivo.

Talasne dužine 5 do 6 cm (C područje) koriste komercijalni avioni za otkrivanje nepogoda i vođenje navigacije. U meteorologiji radari ovog talasnog područja koriste se za merenje intenziteta padavina i količine padavina. Oni su u stanju da otkrivaju i zone slabih padavina iz slojastih oblaka, što pri korišćenju radara od 10 cm to nije slučaj.

Talasne dužine od 3 cm (X talasno područje) koriste avionski radari za vođenje navigacije. Ovi radari mogu da služe i za otkrivanje olujnih procesa u sektoru na pravcu leta aviona u cilju njihovog pravovremenog obilaženja. Radari ovog talasnog područja često se upotrebljavaju i za meteorološke potrebe.

Radari koji rade na talasnim dužinama od 1,25 i 0,86 cm (K područje) koriste se na kontrolnim tornjevima većih međunarodnih aerodroma za kontrolu rulanja vazduhoplova po poletno sletnim stazama, rulnim i razvodnim putevima aerodroma u uslovima ograničene vidljivosti. Ovi radari mogu da se koriste i za otkrivanje slojastih oblaka i ostalih oblaka na svim visinama kada nema padavina. Radari sa ovim talasnim dužinama mogu da mere i donju i gornju granicu oblaka i njihovu debljinu. Pri postavljanju antene radara vertikalno naviše i osmatranjem u određenim vremenskim razmacima, mogu da se dobiju vremenski preseci granica i debljine oblaka. Međutim, mora se reći da je merenje donje granice oblaka pri padavinama nepouzdano.

Postoje meteorološki i neki drugi radari koji rade na dve talasne dužine (dva kanala). Cilj ovih tehničkih rešenja je da se u okviru jednog uređaja omogući osmatranje sve brojnijih meteoroloških pojava. Efektivnost meteoroloških radara određuje se obimom i kvalitetom radarskih meteoroloških informacija o oblacima i padavinama. Meteorološka efektivnost radara obuhvata:

– verovatnoću otkrivanja različitih vrsta oblaka i padavina na različitim daljinama;
– tačnost u određivanju granica oblačnosti, zona padavina i njihovog intenziteta na različitim daljinama.

8.4 METEOROLOŠKE INFORMACIJE KOJE SE DOBIJAJU IZ AVIONA

Izviđanje vremena putem aviona vrši se u cilju određivanja mogućnosti letenja vazduhoplova pri složenim i nestabilnim vremenskim situacijama. Za izviđanje vremena koriste se specijalni avioni koji u letu mogu obezbediti najnovije i detaljnije informacije o vremenskim elementima i pojavama koje su od značaja u odvijanju vazdušnog saobraćaja. To su informacije o vertikalnoj strukturi oblaka, vidljivosti ispod oblaka, smanjenoj vidljivosti iznad Zemljine površine, postojanju opasnih meteoroloških pojava itd.

Pri izviđanju vremena avionom, vazduhoplovni meteorolog na aerodromu treba da za vođu vazduhoplova primeni detaljan plan izviđanja vremena (zadatu liniju leta, profil vetra i njegov režim, vreme i trajanje leta, termine javljanja, predavanja izveštaja i vreme prestanka javljanja).

Ukoliko se izviđanje vremena vrši na većim daljinama od polaznog aerodroma, vođi vazduhoplova moraju se pripremiti stanja i prognoze vremena za alternativne aerodrome kao i njihovi meteorološki minimumi.

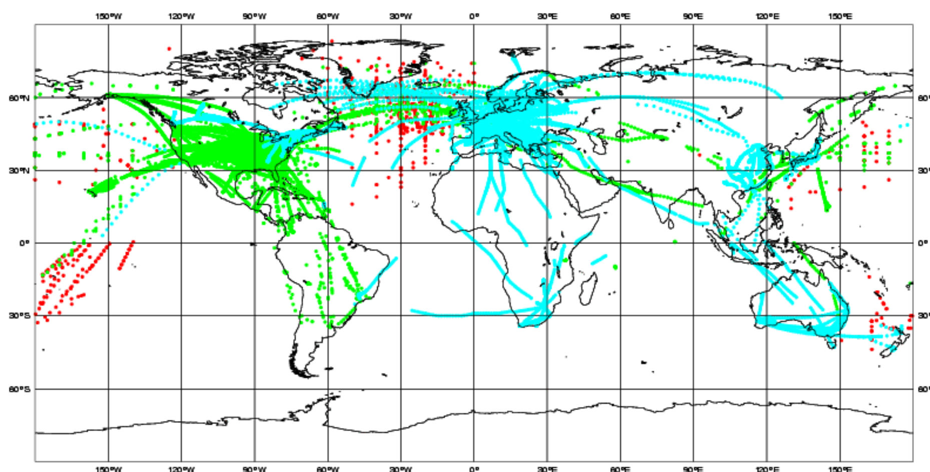
Za određivanje turbulencije, vertikalnog smicanja vetra i drugih pojava koje su veoma značajne za let vazduhoplova, koriste se specijalni avioni-laboratorije. U avion su ugrađeni instrumenti i uređaji koji pri letu mogu da odrede postojanje turbulencije i bacanje aviona. Leteći kroz oblake, u avionu se mere sledeći elementi:

– pravac i brzina udara vetra;
– vertikalne brzine vetra;
– intenzitet bacanja aviona;
– statički i pito-vazdušni pritisak;
– horizontalno i vertikalno ubrzanje aviona;
– brzina uvrtanja (torzije) aviona;
– pravac i brzina skretanja aviona od planirane putanje;
– gradijenti udara vazdušnih struja.

Za potrebe otkrivanja vertikalnog smicanja vetra na malim visinama (do 1000 m), u novijoj meteorološkoj praksi, koriste se savremeni uređaji kao što je to Hawker-Siddelez infracrveni laserski detektor, koji se ugrađuje u prednji deo meteorološkog aviona. Uređajem se fokusira deo vazdušnog prostora i ozrači laserskim zracima. Koristeći Doplerov efekat automatski se izračunavaju komponente vetra te se na osnovu njih otkriva postojanje vertikalnog smicanja vetra.

Jedan od proverenih uređaja za otkrivanje i obaveštavanje pilota o postojanju smicanja vetra jeste PMS (Performance Management System) koji se ugrađuje u sam vazduhoplov. Ovaj sistem je potpuno kompjuterizovan, a za otkrivanje smicanja vetra u svom programu koristi pet parametara:

– ugao nagiba aviona;
– napadni ugao avionskog krila;
– pravac vazdušne brzine;
– vertikalno ubrzanje aviona;
– longitudijalno ubrzanje aviona.



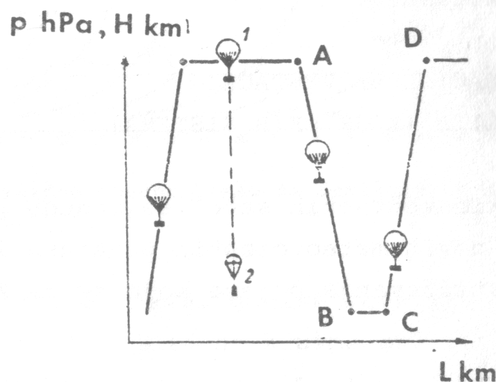
Sl. 8.9 Geografska raspodela AIRCRAFT osmatranja (www.ecmwf.int).

Sa promenom ovih vrednosti parametra, upoređenjima između inercije i ubrzanja vazdušnih masa koje deluju na avion, uređaj PMS daje informaciju o pojavi smicanja vetra i njenim karakteristikama. Ovaj uređaj poseduje dva indikatora smeštena u pilotskoj kabini. Jedan od njih pokazuje na opasnost od smicanja vetra, dok drugi ukazuje na odstupanja brzine preko napadnog ugla krila aviona. Uređaj je konstruisan tako da vodi vazduhoplova preko zvučnog alarma ili svetlosnog signala daje upozorenja o postojanju i osobenostima smicanja vetra (Čobanov, 1992).

Avioni na komercijalnim maršrutama takođe vrše osmatranja i kontoli leta dostavljaju podatke u obliku izveštaja AIRCRAFT. Uobičajene maršrute prikazane su na slici 8.9.

8.5 METEOROLOŠKE INFORMACIJE KOJE SE DOBIJAJU POMOĆU AUTOMATSKIH AEROSTATA

Za izviđanje vremena na vazdušnoj liniji leta mogu se koristiti i automatski aerostati–transsonde. Izviđanje vremena ili sondiranje atmosfere moguće je vršiti u horizontalnom i vertikalnom pravcu. Horizontalna sondiranja izvode se pri kretanju aerostata na jednom ili nekoliko nivoa što zavisi od konkretnih potreba. Aerostati mogu da vrše horizontalna izviđanja donjih slojeva atmosfere tokom više dana. Za to vreme oni prevale velika rastojanja. Vertikalno sondiranje je komplikovanije. Ono se može vršiti sa aerostatima opremljenim radiosondom i davačem koji radi kako za vreme prinudne tako i prirodne promene visine letenja, slika 8.10.



Sl. 8.10 Šema vertikalnog sondiranja atmosfere putem aerostata koji je opremljen aerosondom: 1) aerostat, 2) radiosonda.

Delovi A i B i C i D su periodična spuštanja i penjenja aerostata. Na aerostatu može da se montira radiosonda koja se može u potrebnom momentu otkačiti od njega. U tom slučaju davač će emitovati meteorološke podatke o vetru, temperaturi i vlažnosti vazduha i drugim elementima vremena.

Karakteristike leta aerostata zavise od visine i potrebnog trajanja njegovog leta, sastava i težine instrumenata na njemu. Aerostati sa balonom (tu spadaju skoro svi aerostati) imaju i neke nedostatke. Glavni od njih je što oni ne obezbeđuju postojanju visinu letenja naročito pri smeni dana i noći. Danas se radi na pronalaženju takvih materijala za balone aerostata koji pri letenju na različitim visinama i na prelazu dana i noći neće menjati svoju zapreminu. Na ovaj način će biti izbegnut nestabilan let aerostata, a korisnici će dobiti pouzdanije meteorološke podatke koji karakterišu donje slojeve atmosfere.

Nedavno su napravljeni mnogi projekti planetarnih sistema za dobijanje meteoroloških podataka o globalnim razmerama pomoću aerostata i satelita.

Prema podacima određivanja položaja (reperisanja) aerostata od strane satelita moguće je određivati brzinu i pravac vetra na visini leta aerostata. Na zahtev sa Zemlje ili automatski, sateliti mogu predavati od aerostata informacije i podatke o meteorološkim elementima prijemnim stanicama na Zemlji. Prijemne stanice ove podatke određuju putem računara i šalju ih korisnicima (Čobanov, 1992).

8.6 INFORMACIJE SA METEOROLOŠKIH SATELITA

Pomoću meteoroloških satelita moguće je dobiti veliki broj kvalitetno novih meteoroloških podataka i informacija koje dozvoljavaju istraživanja pojava koje se sa Zemlje ne mogu osmatrati.

Savremena tehnika „daljinskog“ osmatranja pomoću satelita pruža široke mogućnosti u meteorologiji. Ona u mnogim slučajevima ima znatna preimućstva u odnosu na konvencionalne metode u vršenju osmatranja Zemljine površine, kao i prizemnih i viših slojeva atmosfere. Jedna od njenih najvećih prednosti jeste mogućnost globalnog prekrivanja za vrlo kratko vreme.

Razvoj mnogih modela za prognozu vremena, koje su u stanju da daju tačnije prognoze vremena, zahtevaju veći obim osmotrenih meteoroloških jednoobraznih podataka sa čitavog globusa Zemlje kako po horizontali tako i po vertikali. Najbolji način da se to postigne nude sateliti. Razvoj računara, numeričkih prognostičkih modela i meteoroloških satelita zajedno će uticati na budući napredak sistema Svetskog meteorološkog bdenja.

Razvojem meteoroloških satelita operativni meteorološki sistemi osmatranja Svetske meteorološke organizacije, dobili su gotovo „revolucionarno“ sredstvo za rutinska osmatranja oblačnosti i mnogih drugih meteoroloških elemenata i pojava snežnog i ledenog pokrivača, i to u globalnim razmerama. Najbolja potvrda za to je uspostavljanje globalnog svetskog sistema meteoroloških satelita.

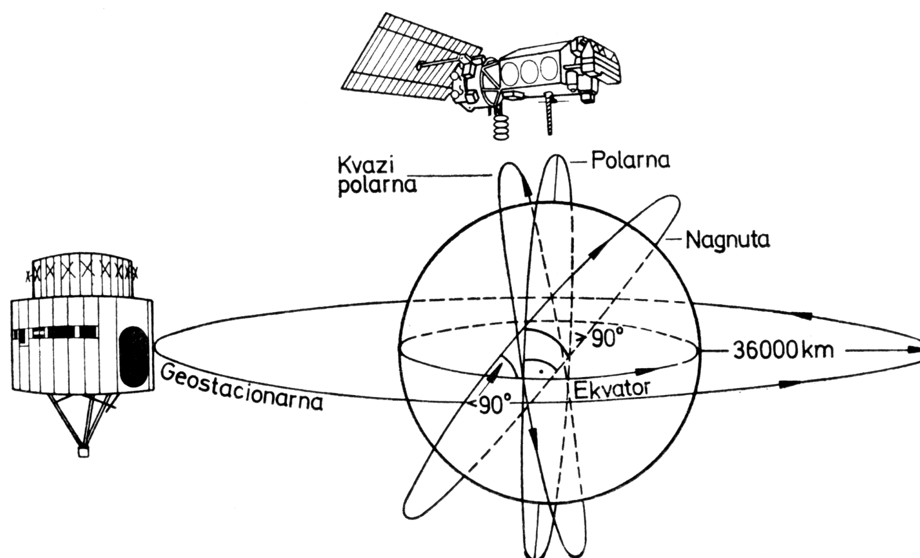
Osmatranja meteoroloških fenomena u globalnim razmerama našla su široku primenu u mnogim domenima ljudske delatnosti, a naročito u domenu meteorološkog obezbeđenja vazdušnog saobraćaja.

Primena satelita u meteorologiji započela je 1960. godine kada je lansiran prvi meteorološki polarno-orbitalni satelit TIROS-1. Zbog tada još nerešenog tehničkog pitanja stabilizacije satelita na putanji, bio je potreban veliki broj stručnjaka raznih profila samo zato da bi se precizirale koordinate snimka. Seriju TIROS satelita sledila je serija ESSA satelita, zatim ITOS, da bi danas u orbitama kružili usavršeni meteorološki polarno-orbitalni sateliti serije NOAA, poznati po nazivu TIROS-n i METEOR.

Godine 1974. lansiran je prvi meteorološki geostacionarni satelit, čija je orbita na visini od oko 36000 km. Sada su operativni: 3 američka (GOES-1,2 i 3), jedan evropski (METEOSAT-2) i jedan japanski (GMS).

Lansiranje meteoroloških satelita i njihovo ubacivanje u odgovarajuće putanje vrši se na isti način kao i drugih satelita. Satelit se može ubaciti u polarnu, kvazipolarnu, nagnutu i geostacionarnu putanju, slika 8.11. Polarno-orbitalni sateliti serije NOAA koriste kvazipolarne putanje (nagib ravni njihovih putanja prema ravni ekvatora iznosi od 98° do 100°), a serije METEOR nagnute putanje sa nagibom od 81°. Geostacionarni meteorološki satelit se ubacuje u putanju u

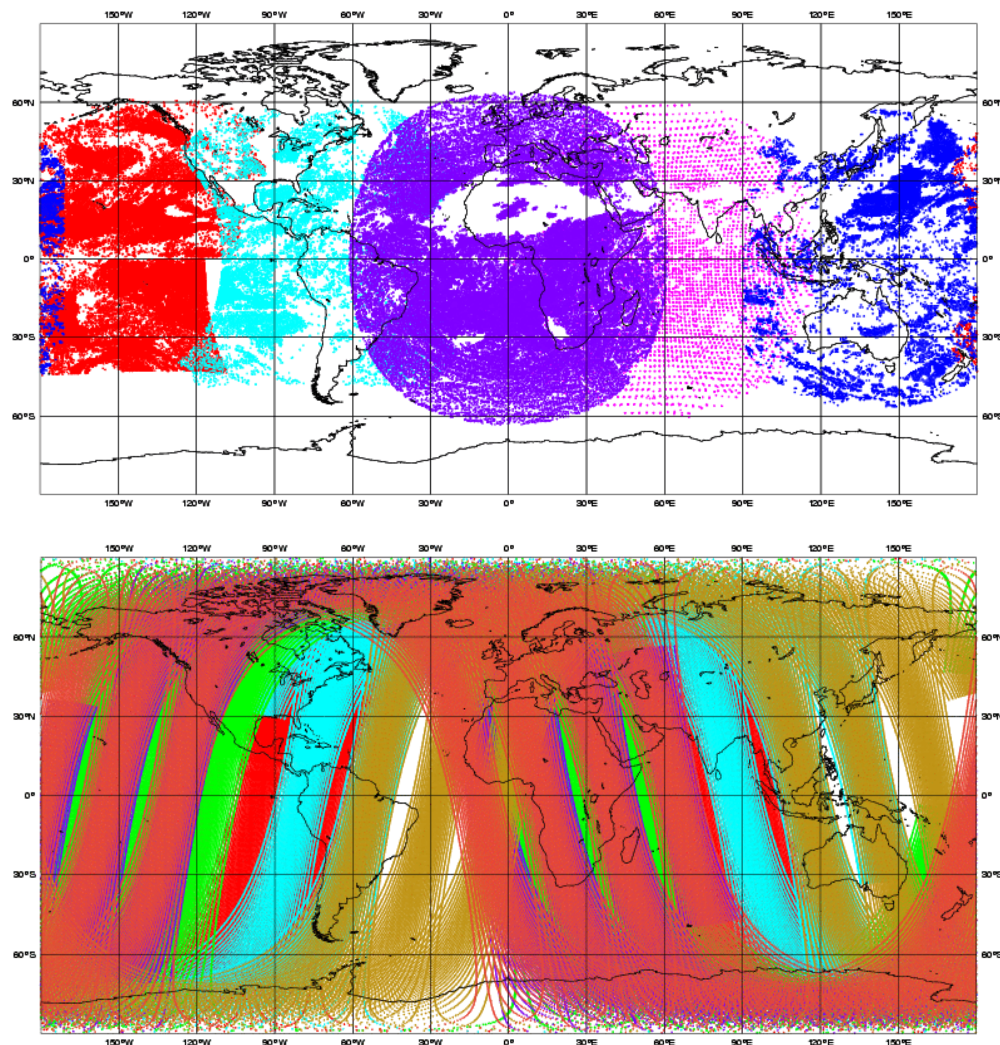
ravni ekvatora na visini oko 36000 km. Na toj visini ugaona brzina Zemlje i satelita su jednake, pa, prema tome, za posmatrača sa Zemlje ovakav satelit je stacionaran, odnosno on je fiksiran iznad određene tačke na ekvatoru (Lazić, 2012).



Sl. 8.11 Putanje polarno-orbitalnih i geostacionarnih satelita.

Primena meteoroloških informacija dobijenih sa satelita veoma je značajna u meteorološkom obezbeđivanju letenja. Informacije koje daju meteorološki sateliti sadrže veoma kvalitetne i važne elemente kao što su: globalnost, prostorna neprekidnost i mogućnost dobijanja podataka u svakoj tački Zemljinog globusa. Zbog toga se meteorološke informacije dobijene pomoću satelita sve više koriste u vazduhoplovnoj praksi letenja. One se primenjuju u analizi sinoptičkih procesa, za davanje upozorenja o opasnim meteorološkim pojavama po vazduhoplove, pri obezbeđivanju vazduhoplova na dugim vazdušnim linijama koje prelaze preko velikih vodenih površina i pustinjskih oblasti kao i za dobijanje podataka o karakteristikama polja vetra i temperature (sl. 8.12).

Uspešnost vazduhoplovnih prognoza nalazi se u direktnoj vezi sa kvalitetom sinoptičkih analiza. Informacije sa meteoroloških satelita su neprekidne za razliku od klasičnih koje se dobijaju osmatranjima na meteorološkim stanicama. One dozvoljavaju sinoptičarima da analiziraju oblačnost kompletnih sistema polja pritiska i da pomoću nje odrede stanje tih sistema. Pomoću satelitskih snimaka moguće je određivati olujni strukturu oblaka, stadijum razvoja ciklona, položaje centra ciklona u zavisnosti od položaja centra vlažnog vihora, oblačnost atmosferskih frontova, gradobitnu strukturu oblaka, karakteristike vertikalne stabilnosti vazdušnih masa i položaj mlaznih struja (Lazić, 2012).



Sl. 8.12 Geografska raspodela raspoloživih AMV IR (gore) i AMSU-A (dole) osmatranja (www.ecmwf.int).

Najsavremeniji uređaj za meteorološku službu na aerodromu, pored automatskih meteoroloških stanica, je uređaj za satelitsku diseminaciju meteoroloških podataka SADIS (**SA**tellite **DIS**tribution) koji prikuplja podatke sa aerodroma iz celog sveta i stavlja ih na raspolaganje svakog trenutka svim zainteresovanim aerodromima u svetu. Ovaj sistem se neprekidno hrani novim, aktuelnim podacima dobijenim sa automatskih meteoroloških stanica. Na taj način zahvaljujući velikom broju važnih podataka prikupljenih u kratkom vremenskom intervalu omogućena je kvalitetnija razmena podataka za potrebe vazduhoplovstva i veća bezbednost avio saobraćaja. Globalne prognoze za SADIS pripremaju se u NCEP-u u Washingtonu i u britanskoj meteorološkoj službi u Ekscitru. Na prognostičkim kartama i drugim korisnim materijalima dobijenih sa SADIS uređaja, mogu se uočiti oblasti sa povoljnim ali opasnim uslovima za let (Lazić, 2010).

SADIS je operativni sistem namenjen omogućavanju aeronautičkih meteoroloških informacija ICAO-u (Međunarodna organizacija civilnog vazduhoplovstva) širom sveta. SADIS je regulisan i kontrolisan u okviru ICAO Standarda i preporučenih procedura i javno je objavljen u

okviru ICAO Aneksa 3 – Meteorološki servisi za međunarodnu vazdušnu navigaciju kao i Aneksa 10 – Aeronautičke telekomunikacije.

Ovaj sistem omogućava tzv. „point to multipoint“ (jedna tačka u kontaktu sa više tačaka) način rada na 24 časovnoj osnovi putem satelita. SADIS-ova veza sa Zemlje je semštena u Zemaljskoj stanici severno od Oksforda u Velikoj Britaniji. Meteorološki podaci se dostavljaju iz Londonskog WAFC-a (World Area Forecast Center – centar za svetsku prognozu vremena) i šalju se SADIS-u. Takvi podaci se onda preko satelita šalju korisnicima bilo gde u AFI (Afrika/Indijski okean) & MID (srednji istok) regijama, kao i u Aziji i Evropi do 140 stepeni istočno. Na taj način SADIS pokriva preko 60% Zemljine površine, dok još dva slična satelita iznad Atlantika i Pacifika pokrivaju ostatak. Sistem za primanje signala sastoji se od spoljne jedinice – antene prečnika 2,4 m i unutrašnje jedinice za prijem signala koja je povezana kablom do antene.

SADIS 1G je nastao još 1995. godine, u međuvremenu, kako bi SADIS ostao konkurentan sa napretkom satelitskih tehnologija i očekivanjima korisnika zamenjen je sledećom generacijom sistema (2G) koja je dostupna od novembra 2004.

Osnovne karakteristike SADIS 2G sistema su:

- SADIS 2G koristi protokole i formate u skladu sa modernim industrijskim standardima;
- SADIS 2G prijemni uređaji su široko rasprostranjeni na tržištu od strane velikog broja različitih proizvođača;
- Hardver je znatno jeftiniji u odnosu na prvu generaciju SADIS sistema.
- SADIS 2G poseduje podršku 24 časa 365 dana u godini. Podaci su takođe dostupni i preko interneta putem SADIS FTP servisa. Korisnici SADIS 1G sistema su morali da promene opremu da bi koristili 2G sistem najkasnije od 31. decembra 2008. kada je SADIS 1G i zvanično prestao sa radom (http://www.metoffice.gov.uk/sadis).

9. METEOROLOŠKO OBEZBEĐENJE VAZDUŠNOG SAOBRAĆAJA

9.1 ORGANIZACIJA METEOROLOŠKE SLUŽBE NA AERODROMIMA

Osnovne potrebe meteorološkog obezbeđenja u vazdušnom saobraćaju ogledaju se u potrebama da ono bude *blagovremeno, kompletno i kvalitetno*. Blagovremeno meteorološko obezbeđenje podrazumeva snabdevanje pilota, kontrolora leta i predstavnika vazduhoplovnih kompanija meteorološkim informacijama koje se odnose na poletanje i sletanje aviona kao i na let aviona vazdušnim linijama. Takođe neophodno je dostavljanje meteoroloških informacija i podataka o opasnim meteorološkim pojavama kako bi se mogle preuzimati preventivne mere za bezbedno letenje.

Osnovni principi meteorološkog obezbeđenja vazdušne plovidbe jesu: *permanentnost, operativnost, efektivnost i sigurnost.*

Permanentnost meteorološkog obezbeđenja sastoji se u neprekidnom radu vazduhoplovnih meteoroloških službi, službi bdenja i vazduhoplovnih meteoroloških stanica na aerodromu. Ove službe i stanice treba da su u svakom momentu spremne da obezbede meteorološke podatke, informacije i prognoze vremena pilotima, kontroli letenja kao i ostalim korisnicima meteoroloških usluga na aerodromu.

Operativnost meteorološkog obezbeđenja vazdušne plovidbe obezbeđuje se: poznavanjem zadataka i poslova koje rešava letačko osoblje, poznavanjem rasporeda kretanja aviona i zahteva za meteorološkim obezbeđenjem vazduhoplova, blagovremenom organizacijom i upoznavanjem sa svim neophodnim podacima o stvarnom i očekivanom vremenu, neophodnim kontaktom sa pilotima i licima koja su vezana za vođenje vazdušnog saobraćaja, itd.

Efektivnost meteorološkog obezbeđenja sastoji se u rezultatu njegovog dejstva (konkretna pomoć pilotima, osoblju kontrole leta, bezbednosti leta, itd.).

Sigurnost meteorološkog obezbeđenja predstavlja stepen neprekidnog rada vazduhoplovnih meteoroloških službi, tako što obezbeđuje što tačnije i kvalitetnije meteorološke informacije sa maksimalno mogućim ocenama ostvarenja izdatih prognoza vremena.

Prema obavezama od strane Svetske meteorološke organizacije i Međunarodne organizacije za civilno vazduhoplovstvo, svaki aerodrom otvoren za saobraćaj mora da raspolaže *vazduhoplovnom meteorološkom službom* i *vazduhoplovnom meteorološkom stanicom* (aerodromi sa malom frekvencijom letenja mogu imati samo vazduhoplovnu meteorološku stanicu).

Meteorološka organizacija svake države poziva vazduhoplovnu meteorološku službu na aerodromu koja izvršava sve ili po potrebi neke od sledećih funkcija:

a) Priprema ili prima prognoze i druge značajne informacije za letove koji se njega tiču.

b) Prima ili dobija prognoze za meteorološke uslove na svom aerodromu.

c) Neprekidno prati razvoj meteoroloških uslova iznad aerodroma i oblasti zaduženja za koje priprema prognoze.

d) Obezbeđuje brifing, konsultacije i dokumentaciju za let posade vazduhoplova.

e) Snabdeva vazduhoplovne korisnike ostalim meteorološkim informacijama.

f) Izlaže raspoložive meteorološke informacije.

g) Razmenjuje meteorološke informacije sa drugim meteorološkim službama.

h) Dostavlja primljene informacije o pre-eruptivnoj aktivnosti vulkana, aktivnosti vulkana ili oblaka vulkanskog pepela, svojoj zaduženoj jedinici kontrole letenja i meteorološkoj službi zaduženoj za poslove bdenja.

Vazduhoplovne meteorološke službe na aerodromima kod kojih se zahteva usmena konsultacija i dokumentacija za let kao i vazduhoplovne meteorološke prognoze za oblast ili vazdušne linije, određuju se regionalnim vazduhoplovnim sporazumom.

Za oblast za koju se daju informacije ili vrši kontrola letenja, može se uspostaviti jedna ili više meteoroloških službi, zaduženih za poslove bdenja u oblasti sa zadatkom da:

a) Vrše bdenje nad meteorološkim uslovima koji utiču na letenje u njihovoj oblasti odgovornosti.

b) Primaju SIGMET i druge informacije koje se odnose na njihovu oblast odgovornosti.

c) Dostavljaju SIGMET informacije i ako se zahteva druge meteorološke informacije odgovarajućoj jedinici službe kontrole leta.

d) Razmenjuju SIGMET.

e) Dostavljaju primljene informacije o pre-eruptivnoj aktivnosti vulkana, aktivnosti vulkana i oblaku vulkanskog pepela (ako SIGMET izveštaj već nije izdat), svom zaduženom centru za dostavljanje informacija ili oblasnom centru kontrole leta.

Meteorološko bdenje na zaduženim aerodromskim meteorološkim službama vrši se neprekidno. Međutim u oblastima sa malom gustinom vazdušnog saobraćaja, bdenje se može ograničiti na kraći period vremena odnosno period koji odgovara očekivanom letenju.

Jedna od obaveza je da se na aerodromima i drugim mestima značajnim za vazduhoplovstvo osnivaju vazduhoplovne meteorološke stanice na kojima se organizuju poslovi vazduhoplovnih meteoroloških osmatranja, pri čemu vazduhoplovna meteorološka stanica može biti samostalna ili kombinovana sa sinoptičkom stanicom.

Na vazduhoplovnim meteorološkim stanicama vrši se inspekcija u dovoljno čestim intervalima da se obezbedi održavanje visokog standarda osmatranja, tačno funkcionisanje instrumenata i proveri da li se izloženost instrumenata značajno promenila.

Aerodromi instaliraju pogodne sisteme za osmatranje koji dopunjuju opremu za završno priležanje i sletanje. Posebno se vodi računa kod izvršenja leta na aerodromima kategorije II, IIIA i IIIB, tu sistemi za osmatranje obuhvataju automatizovanu opremu za merenje ili ocenjivanje, kontrolisanje i povezivanje na daljinu prizemnog vetra, vidljivosti piste, visine oblaka, itd. Na određenim aerodromima, ova oprema je integrisani automatski sistem za dobijanje, obradu, prenos/prikazivanje u realnom vremenu meteoroloških parametara koji utiču na sletanje i poletanje.

Meteorološko obezbeđenje vazdušnog saobraćaja, povezano je sa izborom, obradom, analizom i prenosom velikog broja informacija, koje karakterišu stanje atmosfere u oblasti aerodroma i na liniji leta. Pojava nadzvučnih aviona i sve veće potrebe korisnika zahtevaju

praćenje operativnosti i kvaliteta rada vazduhoplovnih meteoroloških službi kroz sledeće zadatke:

- skraćenje vremena u izboru, obradi i analizi meteoroloških informacija za planiranje leta;

- dostava meteoroloških informacija u najpogodnijem obliku članovima posade, kontrole letenja i drugim korisnicima;

- praktično korišćenje numeričkih metoda za prognozu polja meteoroloških elemenata i pojava opasnih za vazduhoplove;

- povećanje tačnosti i objektivnosti meteorološke dokumentacije;

- oslobađanje meteorološkog osoblja od mehaničkog rada i dobijanje vremena za njihov stvaralački rad.

Meteorološka upozorenja izdaje meteorološka služba za poslove bdenja u obliku SIGMET informacija, koje se sastoje iz sažetog opisa vremenskih pojava, koje mogu uticati na bezbednost leta i razvoj ovih pojava u prostoru i vremenu. Informacije obuhvataju pojavljivanje jedne ili više sledećih pojava:

- aktivne oluje sa grmljavinom;
- tropski ciklon;
- jake linije nestabilnosti;
- padajuće struje;
- vertikalno i horizontalno smicanje vetra;
- jak grad;
- jaka turbulencija;
- jako zaleđivanje;
- izraženi orografski talasi;
- rasprostranjene prašinske ili peščane oluje;
- oblak vulkanskog pepela.

Period važnosti SIGMET poruka nije duži od 6 časova, a poželjno je nije duži od 4 časa.

Upozorenja za aerodrom daju sažetu informaciju u obliku teksta o meteorološkim uslovima koji mogu nepovoljno uticati na poletanje i sletanje aviona, avione na pisti, opremu, objekte i službe. Upozorenja za aerodrom odnose se na očekivanje jedne ili više sledećih pojava: oluja sa grmljavinom, grad, sneg, padavine koje se lede, vulkanski pepeo, peščana ili prašinska oluja, jak prizemni vetar i udari vetra, olujne nepogode i mraz.

Za bezbedno poletanje i sletanje aviona potrebno je raspolagati *izmerenim vrednostima* (METAR) i *prognozama* (TAF) sledećih meteoroloških elemenata:

- vrednosti pritiska na aerodromu koriste se za određivanje visine aviona (podešavanjem altimetara) u odnosu na pistu, gde sleće;

- vrednost temperature vazduha, koristi se za izračunavanje sile potiska za datu snagu motora, tj. određivanje nosivosti aviona;

- prognoze vrsta padavina, kiša, sneg i temperature u prizemlju koja može dovesti do zaleđivanja i ugrožavanja bezbednosti vazduhoplova.

Period važenja redovnih aerodromskih prognoza ne sme biti kraći od 9 niti duži od 24 časa. Prognoze vremena sa važnošću kraćom od 12 časova izdaju se svaka 3 časa, a sa važnošću od 12–24 časa na svakih 6 časova. Aerodromske prognoze i njihove ispravke, razmenjuju se između meteoroloških službi u obliku ključa TAF, sažetog otvorenog teksta ili u obliku teleprinterskih znakova i simbola.

Za letove aviona kraće od jednog časa, izdaju se *posebne prognoze za sletanje aviona*. Važnost ovih prognoza je dva časa od vremena izdavanja. *Posebne prognoze za poletanje aviona* sadrže informacije o uslovima koji se očekuju iznad piste i to: pravac i brzina vetra u prizemlju i njegova promena sa vremenom, temperatura i pritisak vazduha i pojave na pisti. One se dostavljaju tri časa pre poletanja.

Pored aerodromskih prognoza za bezbednost leta, potrebne su i *prognoze za oblast i liniju leta - maršrutu*. Ove prognoze sadrže vetar i temperaturu na određenim visinama, značajne pojave na liniji leta i oblake. Daju se informacije o prostornoj i vremenskoj raspodeli ovih pojava. Prognoze za oblast i liniju leta, kao i njihove ispravke, razmenjuju se između aerodromskih meteoroloških službi u obliku ključeva, koje je propisala Svetska meteorološka organizacija.

Vazduhoplovna *prognoza za oblast* ARFOR ili ROFOR sadrži sledeće prognoze: vidljivost, pojavu oblaka i visine vrhova, nultu izotermu, najniži sloj zaleđivanja i turbulenciju, temperaturu i vetar na nivoima leta, položaj mlazne struje i brzinu vetra u njoj, pravac i brzinu maksimalnog vetra, vertikalno smicanje vetra, tropopauzu i dodatne pojave.

Prognoze visinskog vetra i temperature u određenim tačkama pripremaju se i izdaju u obliku ključa ARMET ili WINMET.

Oblik prognoze ARMET sastoji se iz četiri dela:

- prognoza vetra i temperature na standardnim izobarskim visinama;
- podaci o prognozi mlazne struje;
- podaci o tropopauzi;
- opis značajnog vremena u obliku teksta.

ARMET prognoze šalju se vazduhoplovnim meteorološkim službama, kada im nije moguće dostaviti prognozu vremena u kartografskom obliku.

Upozorenja na smicanje vetra sadrže informacije o osmotrenoj ili očekivanoj pojavi smicanja vetra između nivoa piste i 500 m iznad tog nivoa. Informacije o smicanju vetra dobijaju se pomoću senzora postavljenih na stubove u okolini aerodroma, ili iz osmatranja vazduhoplova u toku faze poletanja ili sletanja. Uslovi za pojavu smicanja vetra povezani su sa jednom ili više sledećih pojava: oluja sa grmljavinom, hladni ili topli front, jaki prizemni vetrovi, vetar sa mora, orografski talasi i inverzija temperature u prizemnom sloju.

Meteorološke informacije daju se *korisnicima vazduhoplova* i članovima posade na jedan od sledećih načina:

- pisani ili štampani materijal, uključujući karte i obrasce;
- podaci u tačkama mreže u digitalnom obliku;
- konsultacija (brifing);
- prikaz – displej.

Dokumentacija za let treba da sadrži sledeće meteorološke informacije za planiranje početka leta:

- stvarni ili prognozirani visinski vetar, temperaturu na visini i topografiju tropopauze;
- postojeće ili očekivane značajne vremenske pojave na liniji leta;
- prognozu za poletanje, aerodromske izveštaje ili aerodromske prognoze vremena.

Konsultaciju (brifing) pre poletanja aviona obavlja dežurni meteorolog. Cilj konsultacija je davanje poslednjih raspoloživih informacija o postojećim ili očekivanim vremenskim uslovima na liniji leta, na aerodromu sletanja i na alternativnim aerodromima. Meteorološke informacije, koje se koriste za brifing, sadrže iste podatke kao i za planiranje leta.

Za letove koji traju *dva ili više časova*, karte koje su uključene u dokumentaciju za let treba da sadrže: *kartu značajnog vremena, kartu visinskog vetra i temperature pogodne za nivo leta i informaciju o topografiji tropopauze*.

Visinske prognostičke karte sastavni su deo meteorološke dokumentacije koja se uručuje članovima posade. One sadrže podatke o vetru i temperaturi vazduha na standardnim izobarskim visinama. Pravac vetra prikazuje se strelicama u odabranoj mreži tačaka, brzina vetra se predstavlja percima. Temperature se predstavljaju u određenim tačkama mreže, a takođe i sa izotermama.

Prognostičke karte o značajnim pojavama za oblast letenja važe za određeno vreme i sadrže:

- frontove, zone konvergencije i očekivano vreme;
- oblast i nivoe koji su zahvaćeni olujom sa grmljavinama, tropske ciklone, turbulenciju, orografske talase, silazna strujanja vazduha, zaleđivanje aviona, padavine koje se lede, vulkanski pepeo, rasprostranjenost prašinske ili peščane oluje;
- oblake povezane sa značajnim pojavama na liniji leta;
- centre sistema pritiska i očekivano kretanje.

Za letove koji traju *kraće od dva časa*, karte koje čine dokumentaciju za let treba da sadrže kartu značajnog vremena, kartu visinskog vetra i temperature na visini koja odgovara nivou leta, ili tabelarni prikaz prognoze visinskih vetrova i temperature na visini. Kad god je moguće, dokumentacija za let treba da se dopuni novim podacima.

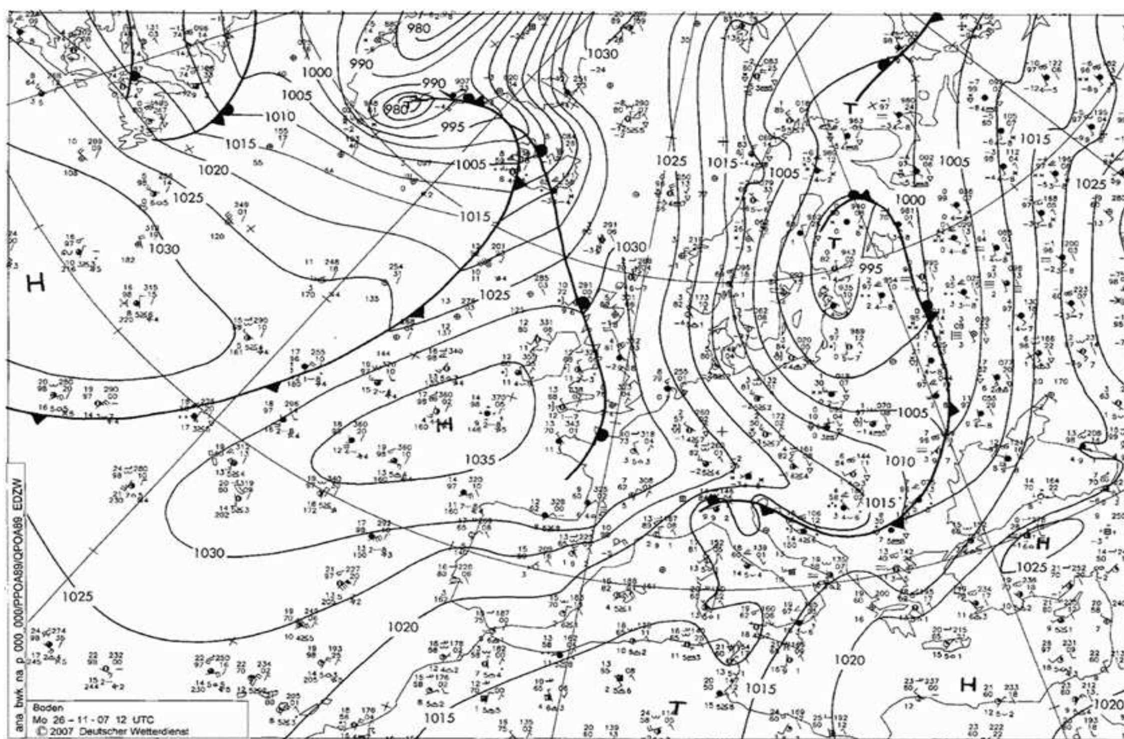
Pored obavezne meteorološke dokumentacije, posadi aviona uručuju se *dopunske informacije* kao: karta tropopauze i maksimalnog vetra, karta vertikalnog smicanja vetra i dr.

9.2 ANALITIČKO-PROGNOSTIČKE INFORMACIJE

Prognostičari u vazduhoplovstvu pri sastavljanju prognoza vremena oslanjaju se na analizu čitavog kompleksa aerološko-sinoptičkog materijala i karata o stvarnom i očekivanom stanju vremena.

Materijal i karte tekućeg vremena su:

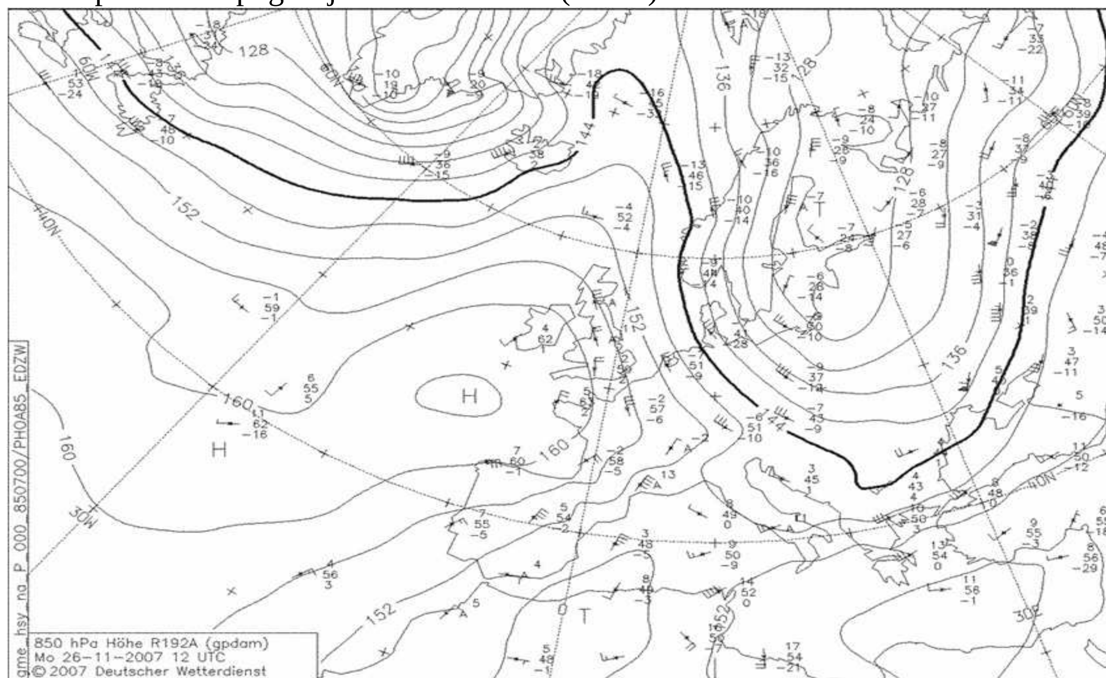
1. Sinoptičke prizemne karte (sl. 9.1)



http://www.wetter3.de/fax

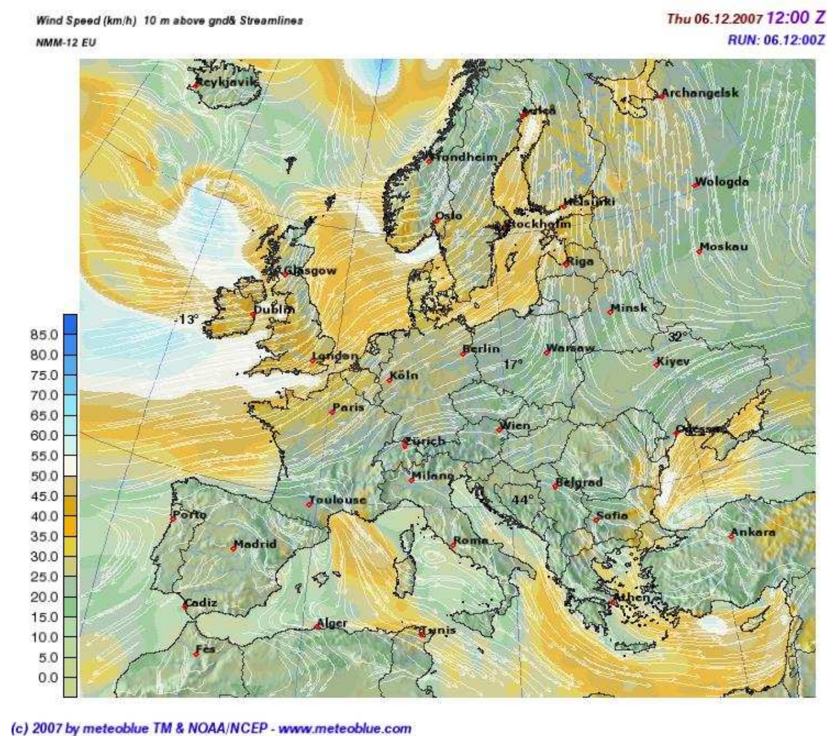
Sl. 9.1 Sinoptička prizemna karta vremena.

2. Karte apsolutne topografije različitih nivoa (sl. 9.2)

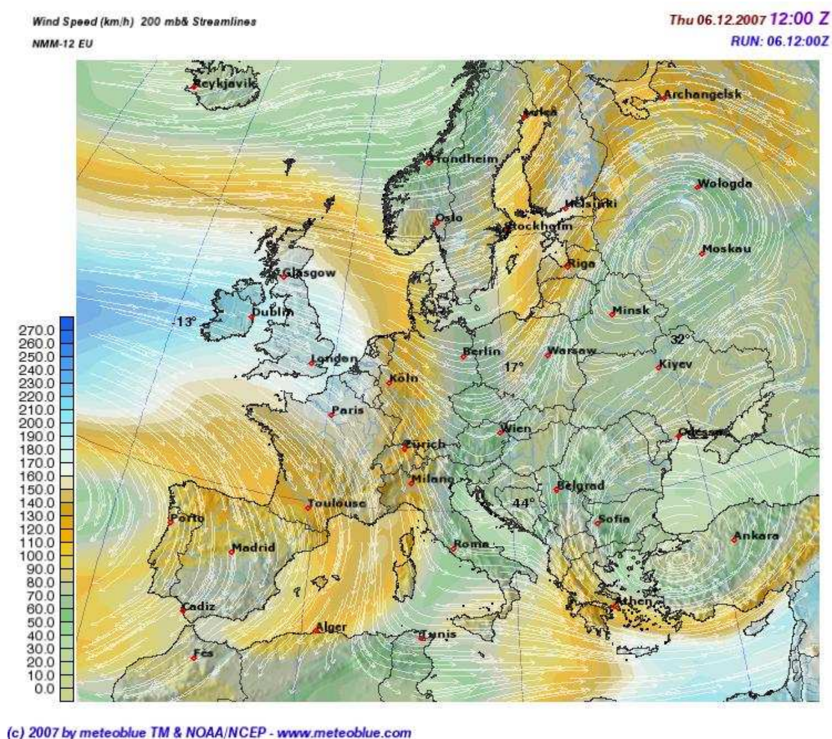


Sl. 9.2 Karta apsolutne topografije (850 mb).

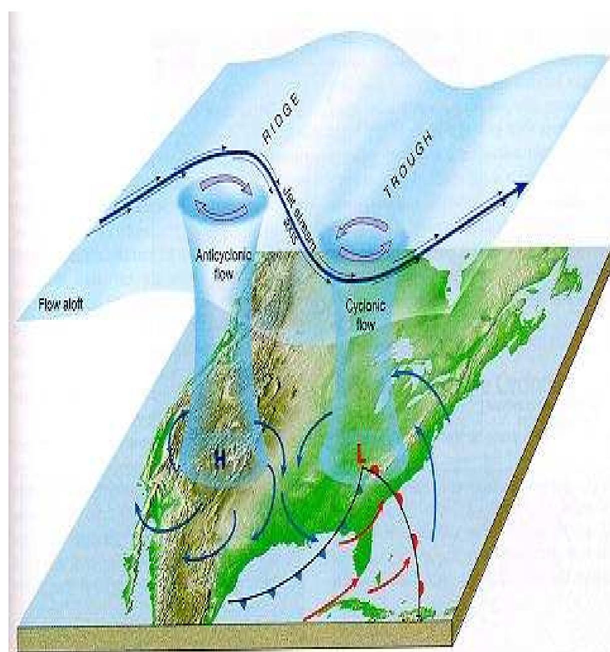
3. Karte maksimalnih vetrova i mlazne struje (sl. 9.3, 9.4, 9.5)



Sl. 9.3 Karta vetra na 10 m.

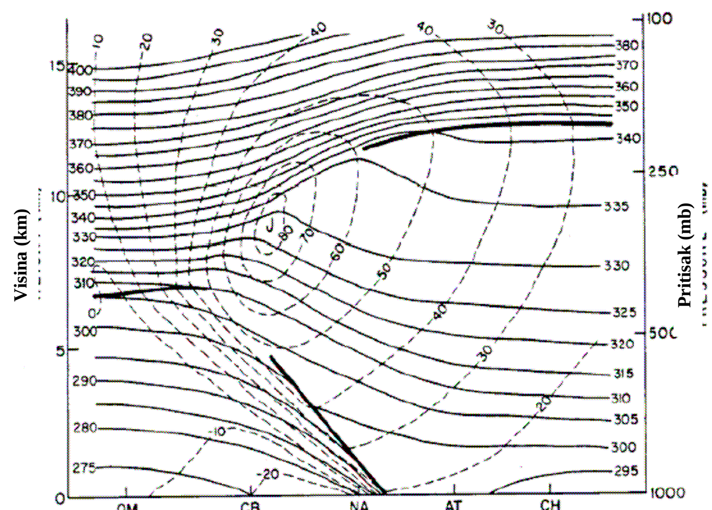


Sl. 9.4 Karta vetra na 200 mb



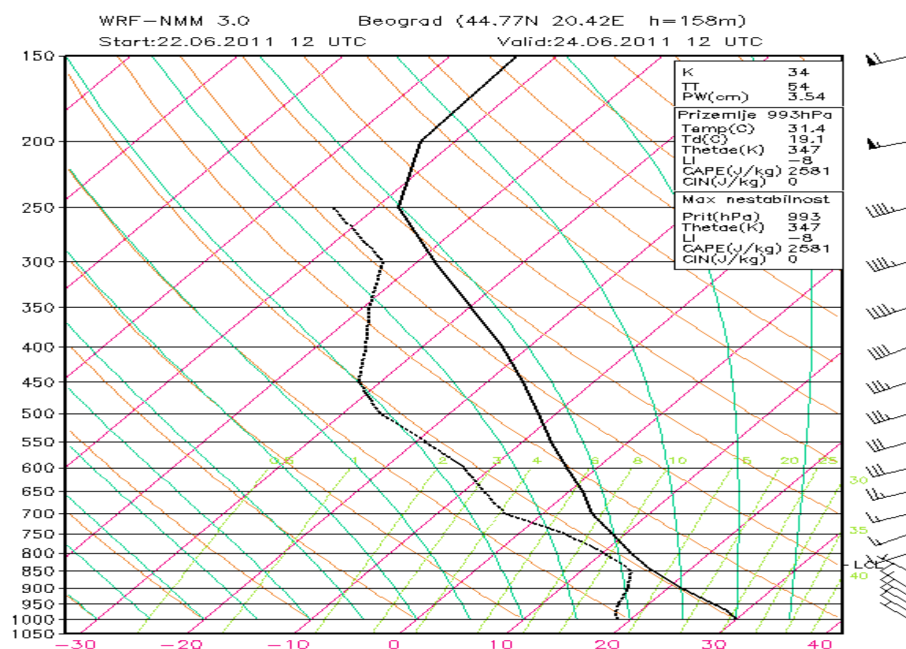
Sl. 9.5 Primer položaja mlazne struje.

4. Vertikalni preseci atmosfere (sl. 9.6)



Sl. 9.6 Vertikalni presek atmosfere u oblasti mlazne struje: vetar (isprekidane linije ms^{-1}) i potencijalna temperatura (pune tanke linije), front i tropopauza (deblje pune linije) (Shapiro i Keyser, 1990).

5. Aerološki dijagrami (emagrami) (sl. 9.7)



Sl. 9.7 Emagram

6. Radarske slike (sl. 9.8)



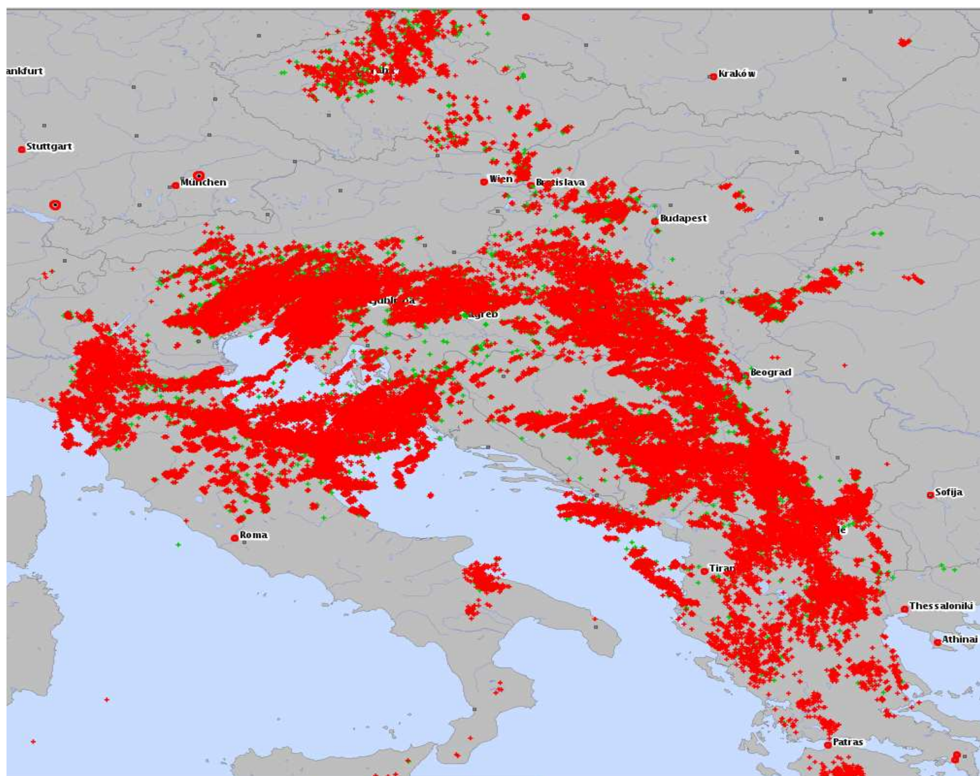
Sl. 9.8 Radarska slika.

7. Slike sa meteoroloških satelita (sl. 9.9)



Sl. 9.9 Satelitska slika uragana Katrina.

8. Karte koje ukazuju na opasne meteorološke pojave (sl. 9.10)



Sl. 9.10 Grmljavinska karta Srbije i okruženja LINET sistema na dan 27.05.2009.

9. Karte stvarnog vremena na aerodromu.

10. Podaci o stvarnom vremenu i njegovim karakteristikama dobijeni od posada aviona.

9.3 METEOROLOŠKI IZVEŠTAJI

Osmatranja na vazduhoplovnim meteorološkim stanicama vrše se u toku 24 časa svakog dana, osim ako to nije drugačije određeno posebnim sporazumom između organa zaduženog za poslove meteorološkog obezbeđenja vazdušne plovidbe i korisnika vazduhoplova.

Na osnovu podataka dobijenih redovnim osmatranjem sastavljaju se vazduhoplovni redovni izveštaji u kojima su sadržane sledeće informacije:

1. Oznaka vrste izveštaja.

2. Oznaka lokacije aerodroma.

3. Vreme osmatranja.

4. Pravac i brzina prizemnog vetra.

5. Daljina vidljivosti.

6. Vidljivost duž poletno-sletne staze (u slučaju neophodnosti).

7. Sadašnje vreme.

8. Količina i vrsta oblaka (u izveštajima u obliku otvorenog teksta sa skraćenicama prikazuju se samo oblaci kumulonimbusi na ili u blizini aerodroma).

9. Visina baze oblaka.

10. Temperatura vazduha i temperatura tačke rose.

11. Vrednost vazdušnog pritiska na nivou mora (QNH).

l2. Vrednost vazdušnog pritiska na nivou aerodroma (QFE).

Izveštaji redovnih osmatranja mogu se korisnicima dostavljati u obliku šifri ili u obliku otvorenog teksta sa skraćenicama.

METAR je naziv za redovan vazduhoplovno–meteorološki izveštaj aerodroma, koji se sastavlja i razmenjuje među aerodromima u sledećem obliku.

		METAR	Identifikacija vrste izveštaja
		CCCC	Lokator aerodroma
$(T'T'/T'_dT'_d)$	Temperatura vazduha na PSS	GGgg	Čas i minut izveštaja
	Temperatura tačke rose na PSS	ddd	Pravac vetra u stepenima

		ff	Brzina vetra u čvorovima
		$f_m f_m$	Maksimalna brzina udara vetra
$(P_h P_h P_h P_h)$	Pritisak QNH	VVVV	Najmanja vidljivost
		R	Indikator grupe
		$V_r V_r V_r V_r$	Vidljivost duž PSS
		$D_r D_r$	Pravac PSS na koju se vidljivost odnosi
		W′W′	Značajno vreme u času osmatranja
		N_s	Količina sloja oblaka
		CC	Vrsta sloja oblaka
		$h_s h_s h_s$	Visina sloja oblaka

Objašnjenje značenja grupa u izveštaju METAR:

1) CCCC – četvoroslovni indikator aerodroma na kome je sastavljen izveštaj METAR; prvo slovo je uvek *L* (locator), drugo slovo je početno slovo države iskazano na engleskom jeziku; zadnja dva slova su uzeta iz naziva aerodroma (LYBE = Beograd).

2) dddff/$f_m f_m$ – ova grupa obično sadrži pet cifara, od kojih prve tri označavaju pravac vetra u stepenima 0^0 do 360^0 (ddd), a druge dve brzinu vetra u čvorovima (ff); sedam cifara u grupi daje se samo kada vetar duva na udare ($f_m f_m$).

3) VVVV – grupa za horizontalnu vidljivost na aerodromu izražena u metrima; ako ova nije ista u svim pravcima, daje se njena najmanja vrednost.

4) $RV_r V_r V_r V_r/D_r D_r$ – grupa za vidljivost duž PSS, gde je (R) slovna oznaka za ovu grupu, $D_r D_r$ znači pravac protezanja PSS na koju se vidljivost odnosi (daje se za aerodrome koji imaju više PSS).

5) W’W’ – za kodiranje značajnih pojava, u času osmatranja na aerodromu, koriste se dvoslovne oznake koje uglavnom predstavljaju, prva dva slova, pojave na engleskom jeziku (sl. 9.11).

BC	Patches	sloj(deo)
BL	Blowing	duvanje
DR	Low Drifting	slabo kretanje
FZ	Freezing	zamrzanje
MI	Shallow	plitko,povrsno
PR	Partial (covering part of the sky)	delimično
SH	Shower(s)	pljuskovi
TS	Thunderstorm	grmljavina

	Types of Weather Phenomenon						
	Element	Precipitation	Element	Obscuration	Element	Other	
sitna kiša	DZ	Drizzle	BR	Mist, vis. ≥ 5/8SM (or ≥ 1000m)	DS	Dust Storm	prašinska oluja
grad prečnika >5mm	GR	Hail, diam. ≥ 5mm (.25")			FC	Funnel cloud(s) e.g., tornado or waterspout	levasti oblaci
grad ,preč.<5mm	GS	Small Hail / Snow Pellets, diam. < 5mm (.25")	DU	Widespread Dust			
ledeni kristali	IC	Ice Crystals	FG	Fog, vis. < 5/8SM (or ≥ 1000m)	PO	Well-developed dust/sand whirls	dobro razvijen prašinski/peščani vrtlog
ledene kuglice	PL	Ice Pellets	FU	Smoke			
kiša	RA	Rain	HZ	Haze	SQ	Squalls	nepogode
zrnasti sneg	SG	Snow Grains	PY	Spray	SS	Sandstorm	peščana oluja
sneg	SN	Snow	SA	Sand			
nepoznate padavine	UP	Unknown Precipitation (Automated only)	VA	Volcanic Ash			

magla>5/8

široko rasprostranjena magla

magla<5/8

dim, čađ

sitna kiša

pesak

vulkanski pepeo

Sl. 9.11 Oznake u kodu za značajne pojave.

6) $N_sCCH_sh_sh_s$ – grupa za oblačnost, gde N_s označava količinu oblaka koja se ovom grupom daje u izveštaju. CC je vrsta oblaka, a $h_sh_sh_s$ visina baze oblaka. Vrsta oblaka se naznačava u izveštaju latinskim skraćenicama za oblake koje već poznajemo. CI – cirus, AC – altokumulus, NS – nimbostratus, CB – kumulonimbus…. Visina oblaka daje se u jednakim intervalima od po 30 m (100 stopa). Grupa oblaka može da se ponavlja nekoliko puta u slučaju kada iznad aerodroma ima više slojeva oblaka, tada se u izveštaju sa grupom za oblačnost daje najniži sloj oblaka bez obzira na količinu, drugi viši sloj daje se ako je njegova količina 3/8 ili veća, a treći viši ako je njegova količina 5/8 ili veća.

Cb se uvek šifruje bez obzira na količinu.

Kada je nebo nevidljivo zbog magle ili drugi uslova ograničene vidljivosti, grupa za oblačnost se šifruje na sledeći način: 9//002 = nebo nevidljivo; vertikalna vidljivost 60 m. Ukoliko ne postoji podatak za vertikalnu vidljivost, grupa se šifruje sa 9//xxx.

7) $T'T'/T'_dT'_d$ - grupa za temperaturu vazduha i temperaturu tačke rose.

8) $P_hP_hP_hP_h$ - grupa za pritisak QNH koja se daje sa četri ili tri cifre.

Kada na aerodromu vladaju sledeći *meteorološki uslovi:*

a) vidljivost 10 km ili veća,

b) nema oblaka ispod 1500 m ili ispod najvišeg nivoa sektorske visine (koja je određena za svaki aerodrom),

c) nema Cb,

d) nema padavina, grmljavine, tankog sloja magle ili snežne vejavice, tada se, umesto grupa VVVV R $V_rV_rV_rV/D_rD_r$, W'W', N_s CC $h_sh_sh_s$ daje reč "CAVOK" što znači *siling and visibility o.k.* (visina baze oblaka i vidljivost u redu).

Primer redovnog izveštaja:

METAR za aerodrom Skoplje

METAR LYSK 1630 24015 Kmh 0600 R1000 42 FG 3SC010 17/16 1018

Izveštaj u skraćenom otvorenom tekstu za Skoplje

MET REPORT LYSK 1630 240/15 Kmh VIS 600M RVR 1000M FG 3/8 300M T17 DP16 QNH 1018

Značenje oba izveštaja: Redovni izveštaj za aerodrom Skoplje u 1630 UTC; smer prizemnog vetra 240 stepeni; brzina vetra 15 km/h; vidljivost 600 m; RVR 1000 m; magla; 3/8 oblaka roda stratocumulus na 300 m; temperature vazduha 17^0C; temperature tačke rose 16^0C; QNH 1018 hPa.

Osim redovnih meteoroloških osmatranja, na vazduhoplovnim meteorološkim stanicama vrše se i specijalna meteorološka osmatranja. Dobijeni podaci specijalnih osmatranja koriste se za sastavljanje specijalnih izveštaja koji su namenjeni aerodromskim službama za vođenje vazdušnog saobraćaja.

Izveštaji o rezulataima specijalnih osmatranja mogu poslužiti i za sastavljanje odabranih specijalnih izveštaja u slučaju kada dođe do promene pojedinih meteoroloških elemenata i to:

1. Kad se promeni pravac i brzina vetra (uključujući i udare vetra);

2. Kada daljina vidljivosti i vidljivost duž poletno-sletne staze dostigne određene granice;

3. Pri početku, prestanku ili pri promeni inteneziteta pojava kao što su grmljavine, grad, sneg sa kišom, prehlađene padavine, nošeni sneg, prašinske i peščane oluje, vihori, tornado i vodene pijavice.

SPECI je specijalni vazduhoplovni meteorološki izveštaj. Ima isti oblik kao i METAR izveštaj, samo se sastavlja i dostavlja u vidu specijalnog upozorenja kada se visina baze oblaka

ili vidljivost ili vetar pogoršavaju, odnosno poboljšavaju do određenih granica. Na aerodromima na kojima se meteorološki elementi i pojave osmatraju svakih pola sata i na osnovu tih osmatranja sastavljaju i dostavljaju METAR izveštaji; SPECI izveštaji se ne sastavljaju.

Primer odabranog specijalnog izveštaja:

SPECI za aerodrom Pula

SPECI LYPU 1115 05025/37KT 2500 95TS 7CB005

Izveštaj u skraćenom otvorenom tekstu:

SPECI LYPU 1115 050/25KT MAX37 MNM10 VIS 2500M TS 7/8 CB 500FT

Značenje oba izveštaja: Odabrani specijalni izveštaj za aerodrome Pula u 1115 UTC; smer prizemnog vetra 50 stepeni; brzina vetra 25 čvorova sa udarima do 37 čvorova; vidljivost 2500 m; oluja sa grmljavinom; 7/8 oblak roda cumulonimbus na 500 stopa.

Na vazduhoplovnim meteorološkim stanicama vrše se osmatranja i sastavljaju se izveštaji za potrebe poletanja i sletanja vazduhoplova. Ovi izveštaji predstavljaju se osoblju kontrole leta, pilotima ili predstavnicima vazduhoplovnih kompanija i to pretežno u tabelarnom obliku ili putem TV monitora.

Meteorološki izveštaj za poletanje i sletanje sadrži sledeće elemente:

1. Prizemni vetar.
2. Daljinu vidljivosti.
3. Stvarno vreme.
4. Količinu i visinu oblaka.
5. Vrednost vazdušnog pritiska na nivou mora (QNH).
6. Vrednost vazdušnog pritiska na nivou aerodroma (QFE).
7. Temperaturu vazduha.
8. Temperaturu tačke rose.

U slučaju neophodnosti, u izveštaje za poletanje i sletanje treba uključivati i neka vizuelna osmatranja kao što su meteorološke pojave koje su od značaja i utiču na letenje u zonama prvobitnog izbora visine ili pri završnim fazama sletanja. Ako se još raspolaže sa metorološkim podacima dobijenim iz vazduhoplova (smicanje vetra) ili putem nadzemnih meteoroloških radara i to treba uneti u izveštaj.

Primer jednog izveštaja za poletanje i sletanje:

Aerodrom Zagreb	28. XI 1987. 17 UTC
Surface wind	**270/12**
Visibility	**15 km**
Weather	**Snow**
Clouds	**3/8 St 600 m, 8/8 As 1800 m**
QNH	**1021 hPa 3015 inch 765,8 mm**
QFE	**1009,1 hPa 2980 inch 756,9 mm**
T/T_d	**-1/-2 ^{0}C**

Značenje: Aerodrom Zagreb, prizemni vetar 270^0 i 12 čvorova, vidljivost 15 km, pada sneg, oblaci 3/8 stratusa na 600 m i 8/8 altostratusa na 1800 m, vazdušni pritisak na nivou mora 1021 hPa (3015 inch ili 765 mm), vazdušni pritisak na nivou poletno-sletne staze 1009,1 hPa (2980 inch ili 756,9 mm), temperature vazduha minus 1^{0}C i tačka rose minus 2^{0}C.

9.4 METEOROLOŠKE PROGNOZE ZA VAZDUHOPLOVSTVO

Kod meteorološkog obezbeđenja vazdušnog saobraćaja jedan od najvažnijih zadataka jeste prognoziranje pojava i meteoroloških elemenata koji se javljaju pri neposrednom letenju vazduhoplova. Priprema karata značajnog vremena za ove nivoe počinje prognozama meteoroloških polja dobijenih iz modela. One treba da sadrže stanje oblačnosti, vidljivost, nivo mržnjenja i turbulenciju. Poznavanje vrednosti za vetar i relativnu vlažnost neophodni su za izračunavanje vertikalne i horizontalne vidljivosti i baze oblaka. Nivo zamrzavanja računa se primenom MOS-metoda, korišćenjem debljine sloja relativne topografije. Za prognozu pojave turbulencije, temperature i orografskih efekata, koristi se advekcija temperature i profil vetra.

Za planiranje letova i za neposredno obezbeđenje letenja za period od *jednog časa pa do jednog dana* koriste se kratkoročne ili vrlo kratkoročne prognoze meteoroloških elemenata i pojava. Vazduhoplovne prognoze vremena pripremaju se za *aerodrom, oblast aerodroma, za sletanje i poletanje, vazdušne linije, oblast letenja.*

U svim ovim prognozama sadržane su karakteristike oblačnosti (količina, visina, donja baza oblaka), padavine, značajne pojave, daljina horizontalne vidljivosti, pravac i brzina vetra, temperatura vazduha, visina izoterme 0^{0}C, položaj i visina tropopauze, pokrivenost planina oblacima, itd.

Postoje *dva* vida prognoze vremena za aerodrom:

a) Dvočasovne prognoze vremena koje se oslanjaju na tekuće vreme, a slede posle redovnog meteorološkog izveštaja METAR. Ove prognoze se daju pod nazivom *trend* prognoze.

b) Prognoze vremena za aerodrom sa važnošću od 9, 18 ili 24 časa daju se pod nazivom *TAF prognoze*. Kod ovih prognoza postoji određeni vremenski period između vremena izdavanja i vremena početka njihove upotrebljivosti.

U pripremi sastavljanja *prognoze vremena za aerodrom*, potrebne su:

1. Informacije o početnim meteorološkim uslovima, dobijene merenjima ili izračunavanjima veličina svih potrebnih meteoroloških elemenata na aerodromu i njegovoj široj okolini za odgovarajući period vremena kao i u predhodnom vremenu od termina sastavljanja prognoze.

2. Poznavanje zakona i pravila kojima su podređeni pojedini meteorološki elementi u lokalnim razmerama.

Za analizu početnih meteoroloških uslova koristi se prizemna karta na kojoj je ubeležen ograničen broj osmotrenih ili izmerenih meteoroloških elemenata, i visinske karte koje obezbeđuju podatke o vertikalnom rasporedu meteoroloških parametara.

Aerodromske prognoze i njihove ispravke koje se razmenjuju između aerodromskih vazduhoplovnih meteoroloških službi daju se: po TAF ključu koji je propisala Svetska meteorološka organizacija (u obliku otvorenog teksta sa skraćenicama), pomoću teleprinterskih znakova čije je značenje dogovoreno između zainteresovanih meteoroloških organa.

TAF je kodirana prognoza vremena za aerodrom, a sastavlja se po međunarodnom ključu, pri čemu se osnovne slovne grupe iz METAR izveštaja ponavljaju u prognozi TAF. Aerodromi koji imaju organizovanu prognostičku službu, izdaju TAF prognoze za 9 časova. Aerodromska prognoza TAF sa ključevima za dešifrovanje prognoze zaleđivanja i turbulencije ima sledeći oblik:

Informacij	**Oznaka aerodroma**	**Vreme**		**Vetar**			**Horizontalna vidljivos**	**Pojave**	**Oblaci**		
		OD	DO	Pravac	Brzina	Maksim.			Količina	Vrsta	Visina
TAF	CCCC	G_1G_1	G_2G_2	ddd	ff	f_mf_m	VVVV	W′W′	N_s	CC	$h_sh_sh_s$

Temperatura			**Zaleđivanje**				**Turbulencija**			
indikator	čas	tempera-tura	indikator	intenzitet zaleđivanj	visina	debljina	indikator	vrsta	visina	debljina
(0	G_fG_f	T_fT_f)	(6	Ic	$h_ih_ih_i$	t_e)	(5	B	$h_bh_bh_b$	t_e)

Šifra ključa	Ic (ključ 1733)	B (ključ 0300)
	Intenzitet zaleđivanja	Vrsta i intenzitet turbulencije
0	Nema zaleđivanja	Nema turbulencije
1	Slabo zaleđivanje	Slaba turbulencija
2	Slabo zaleđivanje u oblaku	Umerena u vedrom, povremena
3	Slabo zaleđivanje u padavinama	Umerena u vedrom, učestala
4	Umereno zaleđivanje	Umerena u oblacima, povremena
5	Umereno zaleđivanje u oblaku	Umerena u oblacima, učestala
6	Umereno zaleđivanje u padavinama	Umerena u vedrom, povremena
7	Jako zaleđivanje	Jaka u vedrom, učestala
8	Jako zaleđivanje u oblaku	Jaka u oblacia, povremena
9	Jako zaleđivanje u padavinama	Jaka u oblacima, učestala

Primeri aerodromskih prognoza:

a) TAF u šifarskom obliku

TAF LYBE 0918 13010 9000 6Sc020 GRADU 1316 3000 50DZ 8St006

b) TAF u otvorenom tekstu sa skraćenicama

FCST LYBE 09/18 130/10 KT VIS 9KM 6/8 2000FT GRADU 13/16 VIS 3000M DY 8/8 600FT

Značenje (oba):

TAF: aerodromska prognoza;

LYBE: aerodrom Beograd;

0918: važnost prognoze od 0900 do 1800 sati UTC;

13010: prizemni vetar 130^{o} 10 čvorova;

9000: horizontalna vidljivost 9 km;

6Sc020: 6/8 Sc oblak na visini 2000 ft (kod otvorenog tipa izostavlja se tip oblaka);

Aerodromska prognoza u obliku otvorenog teksta sa skraćenicama treba da se označi sa FCST, a njena ispravka sa AMD FCST. Redosled elemenata i terminologija, jedinice i skale koje se koriste u aerodromskim prognozama u obliku otvorenog teksta sa skraćenicama, treba da budu iste kao one koje se koriste u vazduhoplovnim redovnim i vazduhoplovnim specijalnim izveštajima o vremenu za isti aerodrom.

Prognoze za sletanje pripremaju aerodromske vazduhoplovne meteorološke službe sa ciljem da takve prognoze zadovolje potrebe korisnika na aerodromu i aviona koji se nalaze unutar rastojanja koje približno odgovara jednočasovnom letu. Ove prognoze mogu da se pripremaju ili u obliku samostalne prognoze ili kao trend prognoze.

Samostalna prognoza za sletanje sastoji se od sažetog prikaza očekivanih meteoroloških uslova na aerodromu i sadrži neki ili sve elemente: prizemni vetar, vidljivost, značajno vreme i oblake. Period važnosti samostalne prognoze za sletanje ne prelazi dva časa od trenutka izdavanja.

TREND prognoza za sletanje sastoji se od *redovnog, specijalnog ili odabranog* specijalnog izveštaja za aerodrom kome se pridodaje sažeti prikaz očekivanog trenda meteoroloških uslova na tom aerodromu. Period važnosti TREND prognoza za sletanje iznosi 2 h od vremena na koji se odnosi izveštaj i koji čini deo prognoze za sletanje.

U TREND prognozama za sletanje označavaju se promene jednog ili više elemenata: prizemni vetar, vidljivost, značajno vreme i oblaci. Uključuju se samo oni elementi za koje se očekuje promena. Ako se ne očekuje promena, to se označava sa izrazom NOSIG (No Significant Change), kako u METAR ključu tako i u verziji sa otvorenim tekstom.

Ako se prognozira određena promena vrednosti neke od navedene četri veličine, onda se to naznačava korišćenjem sledećih grupa:

TTTTT GG ggHR dddff/f_mf_m VVVV w'w' $NsCCH_sh_sh_s$

a) TTTTT – indikator promene,

b) GG ggHR –početak perioda u kojem se očekuje promena.

Ostali članovi imaju isto značenje kao i u METAR izveštaju, uključujući i mogućnost upotrebe skraćenice CAVOK.

Kao indikator promene službene skraćenice (GRADU, RAPID, TEMPO, INTER i TREND) upotrebljavaju se na sledeći način:

a) GRADU se upotrebljava ako se očekuje da promene nastupe u približno konstantnom odnosu tokom celog prognostičkog perioda ili u toku njegovog određenog dela.

b) RAPID se upotrebljava umesto GRADU kada se očekuje da promene nastupe u toku perioda koji je kraći od pola časa.

c) TEMPO se upotrebljava kada se očekuje da promene traju u periodu kraćem od jednog sata i promene nastupaju dovoljno retko za preovlađujuće uslove date u ovom izveštaju.

d) INTER će biti upotrebljeno ako se očekuje da će se promene javljati učestano u kratkim periodima vremena, a uslovi će se neprekidno kolebati između onih u izveštaju ili onih u predhodnom delu prognoze ili onih u prognozi.

e) TREND će se upotrebiti ako nijedan od izraza GRADU, RAPID, TEMPO i INTER nije primenjen. On se neće koristiti ako je neki drugi indikator već upotrebljen u predhodnom delu.

Primer posebne prognoze za sletanje koja se daje u otvorenom tekstu sa skraćenicama:

LANDING FCST LYSA 05/06 CALM VIS 600M FG 3/8 900M RAPID 0530 VIS 300M
Značenje prognoze:
LANDING FORECAST: prognoza za sletanje;
LYSA: aerodrom Sarajevo;
05/06: važnost prognoze od 0500 do 0600 UTC;
CALM: bez vetra (tišina);
VIS 600M: horizontalna vidljivost 600 m;
FG: magla;
3/8 900M: 3/8 oblaka na 900m;
RAPID 0530: nagle promene od 0530 UTC;
VIS 800M: horizontalna vidljivost opašće na 300 m.

Primer prognoze za sletanje u šifarskom obliku i obliku otvorenog teksta sa skraćenicama – TREND prognoza koja se daje uz METAR izveštaj:

Prognoza za sletanje u šifarskom obliku:
METAR LYDU 1930 05009KT 5000 1023 TEND 3000 10 BR

Prognoza za sletanje u obliku otvorenog teksta:
MET REPORT LYDU 1930 050/09 VIS 500M QNH 1023 TENF 3000M BR
Ovaj primer govori o istoj prognozi samo u dva različita oblika, pa će se značenje odnositi na oba:
METAR: izveštaj o aktuelnom vremenu;
LYDU: aerodrom Dubrovnik;
1930: u 1930 UTC;
05009KT: prizemni vetar 050° brzine 9 čvorova;
5000: horizontalna vidljivost 5 km;
1023: vazdušni pritisak na nivou mora 1023 hPa;
TEND: razvoj (tendencija) vremena za narednih dva sata;
3000 10 BR: horizontalna vidljivost u sumaglici 3000 m.

Prognoze za poletanje treba da se odnose na određeni period vremena i da sadrže informacije o očekivanim uslovima vremena iznad kompleksa poletno-sletnih staza, s obzirom na *pravac i brzinu prizemnog vetra i njihove promene*, *temperaturu vazduha*, *vazdušnog pritiska (QNH)* i druge elemente u saglasnosti sa korisnicima na aerodromima. Prognoze se moraju dostaviti kontroli letenja untar intervala od tri sata.

P*rognoza za oblast i liniju leta* sadrži visinski vetar, temperaturu na visini, značajne pojave na putu i oblake (nadmorska visina i geografska rasprostranjenost). Vazduhoplovne meteorološke službe bdenja koje pripremaju prognoze za oblast i liniju leta, neprekidno kontrolišu njihovo ostvarenje i izdaju ispravke ako je potrebno. Prognoze za oblast i liniju leta i njihove ispravke koje se razmenjuju između aerodromskih vazduhoplovnih meteoroloških službi u obliku koji je propisala SMO daju se po ključevima ARFOR, ROFOR, ARMET ili WINTEM*.

Vazduhoplovna prognoza za oblast ARFOR sadrži prognozu: vidljivosti, karakterističnih pojava oblačnosti i njihovih vrhova, nulte izoterme, najnižeg sloja zaleđivanja i turbulencije, temperature i vetra na nivoima leta, položajem mlazne struje i brzine vetra u njoj, pravca i brzine maksimalnog vetra, vertikalnog smicanja vetra, tropopauze i temperature u njenim slojevima kao i dodatne pojave.

Vazduholovna prognoza za liniju leta ROFOR sadrži prognozu vremena i meteoroloških elemenata na liniji leta između dva aerodroma. Meteorološki elementi i pojave koje se prognoziraju prema ključu ROFOR isti su kao oni u vazduhoplovnoj prognzi za oblast - AFOR**.**

Prognoza visinskog vetra i temperature u određenim tačkama pripremaju se u obliku ključa ARMET ili WINMET. Oblik prognoze ARMET sastoji se iz *četiri* dela sa sledećim sadržajem:

a. Pognoza vetra i temperature na standardnim izobarskim visinama.

b. Podaci o prognozi mlazne struje (neobavezno).

c. Podaci o tropopauzi (neobavezno).

d. Opis značajnog vremena u obliku teksta (neobavezno).

ARMET prognoze za vazduhoplovsto dostavljaju se drugim vazduhoplovnim meteorološkim službama u slučajevim kada im prognozu vremena nije moguće dostaviti u kartografskom obliku.

Meteorološko obezbeđenje vazdušnog saobraćaja povezano je sa izborom, obradom, analizom i transmisijom velikog broja informacija koje karakterišu fizičko stanje atmosfere u oblasti aerodroma i na vazdušnim linijama. Pojava nadzvučnih aviona i sve veći zahtevi od korisnika u vazdušnom saobraćaju, koji iz godine u godinu naglo raste, dovodi do neophodnosti skraćenja vremena koje se odnosi na osmatranje, analizu i distribuciju meteoroloških podataka pilotima, kontroli leta i ostalim meteorološkim službama.

Automatizacija meteorološkog obezbeđenja letenja avionima kao glavni cilj ima povećanje operativnosti i kvaliteta rada vazduhoplovnih meteoroloških službi u pravcu rešenja sledećih zadataka:

a. Znatno skraćenje vremena u izboru, obradi i analizi meteoroloških informacija neophodnih za planiranje i obavljanje letenja.

b. Da dostava meteoroloških informacija bude u obliku koji je najpodesniji za korišćenje od strane posade aviona, kontrole leta, dispečerskih službi i ostalih korisnika u vazdušnom saobraćaju.

c. Praktično korišćenje numeričkih metoda za prognozu polja meteoroloških elemenata i opisanih pojava za vazduhoplove.

d. Povećanje tačnosti i objektivnosti meteorološke dokumentacije koja se uručuje pilotima.

9.5 METEOROLOŠKA UPOZORENJA

SIGMET informacije izdaje meteorološka služba za poslove bdenja u oblasti zaduženja i sastoji se od sažetog opisa određenih vremenskih pojava koje mogu uticati na bezbednost vazdušne plovidbe i razvoj ovih pojava u prostoru i vremenu. Informacije obuhvataju javljanja ili očekivano javljanje jedne ili više od sledećih pojava:

a) Na podzvučnim nivoima kretanja:

1. Aktivne oluje sa grmljavinom.
2. Tropski cikloni.
3. Jake linije nepogoda.
4. Jak grad.
5. Jaka turbulencija.
6. Jako zaleđivanje.
7. Izraženi planinski (orografski talasi).
8. Rasprostranjene prašinske/peščane oluje.
9. Oblak vulkanskog pepela.

b) Na kroz-zvučnim i nadzvučnim nivoima krstarenja:

1. Umerena ili jaka turbulencija.
2. Oblaci roda Cb.
3. Grad.
4. Oblak vulkanskog pepela.

SIGMET (SIG skraćenica od Significant - značajan) izveštaj je o značajnim pojavama koje mogu da utiču na bezbednost vazdušnog saobraćaja. Sastoji se iz sažetog opisa određenih vremenskih pojava i prognoze njihovog razvoja.

SIGMET izveštaje pripremaju oblasni meteorološki centri (Beograd).

SIGMET se upotrebljava za obeležavanje lokacije i karaktera i/ili razvoja jedne od navedenih značajnih pojava: oblasti sa grmljavinskom aktivnošću, tropske oluje, olujne nepogode (linije nestabilnosti), jak grad, jaka turbulencija, jako zaleđivanje, izraženi planinski talasi i peščane i prašinske oluje. Izveštaji SIGMET o ovim pojavama imaju prioritet.

Čest izvor obaveštenja o lokalitetu i karakteru značajnih pojava su posade u vazduhu, stoga je opravdana praksa da piloti samostalno interpretiraju SIGMET izveštaje koje dobiju u vazdušnom prostoru. SIGMET se sastavlja i dostavlja korisnicima u obliku otvorenog teksta, pri čemu se koriste skraćenice na engleskom jeziku.

Prilog 1. SKRAĆENICE I KODOVI U SIGMETIMA
(* označava kodove)

SKRAĆENICA ili KOD	značenje na engleskom	značenje na srpskom
ABV	above	iznad
AC *	altocumulus	altokumulus
ACT	active, activated	aktivnost, aktivan
AGN	again	ponovo
ANT	before	pre, ranije
APRX	approximate or approximately	približan ili približno
AS *	altostratus	altostratus
ASC	ascend to, ascending to	dizati se ili dizanje
ASSW	associated with	u vezi sa
BASE	cloud base	baza oblaka
BDRY	boundary	granica
BKN	broken	5/8-7/8 razbijena oblačnost
BLC	below clouds	ispod oblaka
BLW	below	ispod
BTL	between layers	između slojeva (oblaka)
BTN	between	između
CAT	clear air turbulence	turbulencija u vedrom vremenu
CB *	cumulonimbus	kumulonimbus
CC *	cirrocumulus	cirokumulus
CI *	cirrus	cirus
CLA	clear type of ice formation	stvaranje providnog leda
CLD	cloud	oblak
CNS	continuous	neprekidan
COT	at the coast	na obali
CS *	cirrostratus	cirostratus
CU *	cumulus	kumulus
CUF	cumuliform	kumulusnog oblika
DES	descend(ing) to	spuštanje na
DIF	diffuse	rasturiti
DP	dew point	tačka rose
DS *	duststorm	prašinska oluja
DTRT	deteriorate	pogoršanje
EMBD	embeded	uklopljen, ugrađen
EV	every	svi, svaki
EXC	except	osim
EXP	expect or expected	očekivati, očekivan
EXTD	extend or extending	produžiti, produženje
FC *	funnel cloud	levkasti oblaki (tornado ili vodena pijavica)
FCST	forecast	prognoza
FEW	few	1/8 -2/8 mala oblačnost
FLU	fluctuating	kolebanje
FM	from	od
FRQ	frequent	učestan
FZ *	freezing	prehlađen, koji se ledi
FZRA *	freezing rain	ledena kiša, kiša koja se ledi
GR *	hail	grad
GND	ground	zemlja
HAIL	hail	grad
HVY	heavy	jak (intenzitet pojave)
HVYGR	heavy hail	jak grad
IAO	in and out of clouds	u i van oblaka
ICE	icing	zaleđivanje
IMT	immediate(ly)	trenutan, trenutno
INC	in cloud	u oblacima
INTER	intermittent	isprekidan
INTST NC	intensity no change	intenzitet bez promene
INTSF	intensifying	u pojačanju
IMPR	improve(ing)	poboljšati, poboljšanje
ISOL	isolated	izolovani (usamljeni)
JTST	jet stream	mlazna struja
LAN	inland	unutrašnji, kopneni
LAT	latitude	geografska širina
LGT	lighting	munja
LOC	localy	lokalno, mesno
LONG	longitude	geografska dužina
LTD	limited	ograničen
LSQ	line squall	linija nestabilnosti
LYR	layer or layered	sloj ili u slojevima (oblaci)
MAR	at sea	na moru
MNTN	maintain	održavanje

SKRAĆENICA ili KOD	značenje na engleskom	značenje na srpskom
MOD	moderate	umereno
MON	above mountains	iznad planina
MOV	move, moving	kretati, kretanje
MT	mountain	planina
MTW	mountain waves	planinski talasi
NC *	no change	bez promene
NS *	nimbostratus	nimbostratus
OBS	observe(d), observation	osmotriti(tren), osmatranje
OBSC	obscure(d), obscuring	zamračen, nejasan
OCNL	occasional or occasionally	povremen ili povremeno
OTP	on top	na vrhu
OVC	overcast	8/8 potpuna oblačnost
PROB	probability	verovatnoća
PSN	position	položaj
QUAD	quadrant	kvadrant
RAPID	rapid or rapidly	brz ili brzo
SC *	stratocumulus	stratokumulus
SCT	scattered	3/8- 4/8 razbacana oblačnost
SEV	severe	jak (intenzitet pojave, obično turbulencija ili zaleđivanje)
SFC	surface	zemljina površina
SKC	sky clear	vedro nebo
SLW	slowely	lagano, polako
SMK	smoke	dim
SQL	squall line	olujni udar vetra
SS *	sandstorm	peščana oluja
ST *	stratus	stratus
STF	stratiform	stratusnog oblika
STNR	stationary	stacionaran
TC *	tropical cyclone	tropski ciklon
TCU *	towering cumulus tj. cumulus congestus	kumulus kongestus (kumulus u razvoju ka kumulonimbusu)
TDO	tornado	tornado
TEND	trend	trend
TS *	thunderstorm	grmljavina
TURB	turbulence	turbulencija
VA *	volcanic ash	vulkanski pepeo
VRBL	variable	promenljiv
WKN	weaken or weakening	slab, u slabljenju
WDSP	widespread	rasprostranjen

SIGMET izveštaj sadrži sledeće podatke:

a) Identifikaciju meteorološkog oblasnog centra koji je izdao SIGMET izveštaj, na primer *LYZA*.

b) Broj izveštaja, npr. *SIGMET 5*, što znači da je peti po redu SIGMET izveštaj u toku dana od istog oblasnog meteorološkog centra.

c) Period važnosti: npr. od *1215 do 1600 GMT*.

d) Pojavu na koju se SIGMET izveštaj odnosi, npr. jaka turbulencija.

e) Opis pojave, npr. turbulencija u vedrom veremenu.

f) Identifikaciju da li se pojava već razvija ili se prognozira.

g) Kretanje ili predviđanje kretanja.

h) Procene intenziteta, za šta se koriste izrazi *Intensifing* - u pojačanju, *Weaking* - u slabljenju i *No change* - bez promene.

Period važnosti SIGMET izveštaja treba da bude približno 3 do 4 časa, ali ne duže od 6 časova od trenutka izdavanja. Period važnosti se iskazuje izrazom *Valid* - važi, iza koga sledi početak i kraj perioda u četri znaka, svaki odvojen /.

Primer SIGMET informacija:

LYZB SIGMET 5 VALID 221215/221600 LYZA-SEV CAT OBS AT 1210 LYZD FL 250 MOV E 40KMH WKN

Značenje: Peti od 00.01 UTC SIGMET izveštaj koji je izdala meteorološka služba Zagreb (LYZA) zadužena za bdenje u oblasti za koju se daju informacije (prepoznaje se po LYZB);
poruka važi od 12.15 UTC do 16.00 UTC 22-og ovog meseca;
osmotrena je jaka turbulencija u 12.10 UTC iznad aerodroma Zadar (LYZD) na nivou leta 250;
očekuje se njeno kretanje prema istoku brzinom 40 km/h i slabljenje.

SIGMET poruke se pripremaju u skraćenom otvorenom tekstu koristeći odobrene ICAO skraćenice i numeričke vrednosti, a ako odgovarajuće odobrene skraćenice nisu raspoložive, koriste se reči nacionalnog jezika sa uobičajenim značenjem u vazduhoplovstvu. Poruke koje sadrže SIGMET informacije za podzvučne vazduhoplove prepoznaju se kao SIGMET, a one koje sadrže informacije za nadzvučne vazduhoplove u toku dozvučnog (kroz-zvučnog) ili nadzvučnog leta kao SIGMET SST.

Redni broj u SIGMET-u odgovara broju SIGMET poruka izdatih za oblast za koju se daju informacije od 00.01 UTC dotičnog dana.

Period važnosti SIGMET poruka nije duži od 6 časova, a poželjno je ne više od 4 časa, osim u specijalnom slučaju pojave oblaka vulkanskog pepela kada se taj period može produžiti do 12 časova. To se označava izrazom *VALID* koga prati grupa za datum i vreme označavajući početak i kraj tog perioda.

Moderna tehnička sredstva savremeni komercijalnih aviona i primena navigacionih i meteoroloških uređaja za sletanje daju mogućnost letenja i u složenim meteorološkim uslovima. Dok upozorenja za aerodrom daju, sažetu informaciju, otvorenim tekstom, o meteorološkim uslovima koji mogu nepovoljno uticati na vazduhoplove na Zemlji (uključujući parkirane),

aerodromska sredstva, opremu, objekte i službe. Ova upozorenja daje vazduhoplovna meteorološka služba na aerodromu.

Upozorenja za aerodrom se odnose na javljanje ili očekivano javljanje jedne ili više od sledećih pojava:

a) Oluja sa grmljavinom.

b) Grad.

c) Sneg.

d) Padavine koje se ne lede.

e) Inje ili slana.

f) Peščana oluja.

g) Pesak ili prašina koja se diže uvis.

h) Jak prizemni vetar i udari vetra.

i) Olujne nepogode.

j) Mraz.

Upozorenja na smicanje vetra sadrže informacije o osmotrenoj ili očekivanoj pojavi smicanja vetra koja može nepovoljno da utiče na vazduhoplove na putanji prilaženja ili sletanja između nivoa piste i 500 m (1600 ft) iznad tog nivoa.

Uslovi za pojavu smicanja vetra su obično povezani sa jednom ili više od sledećih pojava:

1. Oluja sa grmljavinom.
2. Hladni ili topli front.
3. Jaki prizemni vetrovi udruženi sa lokalnom topografijom.
4. Vetar s mora.
5. Planinski (orografski) talasi.
6. Inverzija temperature u prizemnom sloju.

Pošto se smicanje vetra duž putanje prilaženja i poletanja za sada ne može osmatrati i meriti na zadovoljavajući način sa Zemlje, dokaz njegovog postojanja izvodi se iz osmatranja vazduhoplova u toku faze penjanja ili faze prilaženja. Dokaz o postojanju smicanja vetra se još može izvesti i iz drugih meteoroloških informacija, npr. iz pokazivanja odgovarajućih senzora postavljenih na postojeće stubove ili tornjeve u okolini aerodroma ili obližnje oblasti sa višim terenom ili iz pokazivanja sistema senzora za prizemni vetar ili pritisak postavljenih oko aerodroma.

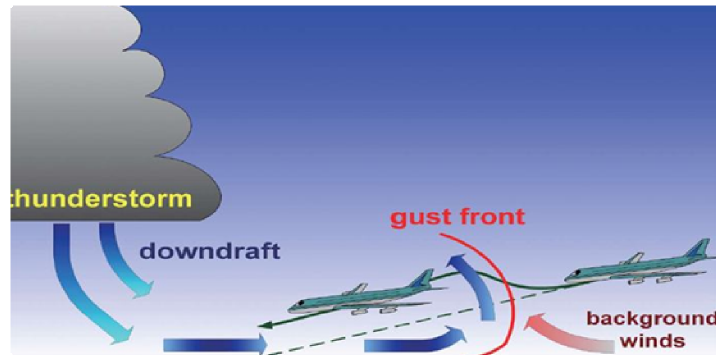
Upozorenja na smicanje vetra pripremaju se u obliku skraćenog otvorenog teksta, na primer:

WS WRNG SURFACE WIND 320/10KT WIND AT 60M 360/25KT IN APCH

Kada se za pripremu upozorenja na smicanje vetra ili kao potvrda predhodno izdatog upozorenja koristi izveštaj iz vazduha, u upozorenje se uključuju tip vazduhoplova i odgovarajući izveštaj u nepromenjenom obliku, na primer:

WS WRNG B707 REPORTED MOD WS IN APCH RWZ34 AT 1510.

Mogu postojati dva različita upozorenja na smicanje vetra, jedno za vazduhoplove u dolasku, a drugo u odlasku. Upozorenja na smicanje vetra za vazduhoplove u dolasku ili odlasku poništava se kada izveštaj iz vazduhoplova pokaže da smicanje vetra više ne postoji.

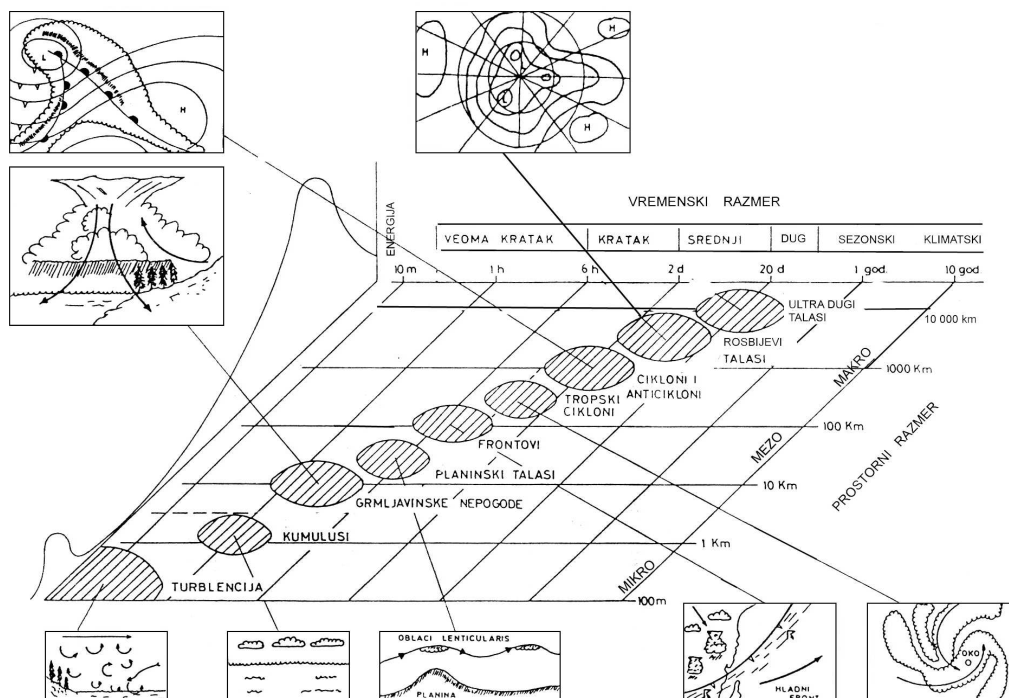


Sl. 9.12 Prikaz uticaja vetra na putanju leta aviona.

9.6 VAZDUHOPLOVNA METEOROLOŠKA KARTA

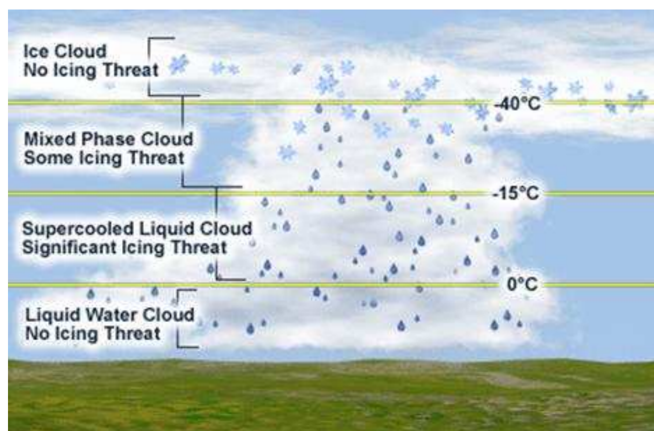
Analiza sinoptičke situacije na sinoptičkoj karti, naziva se makroanaliza, dakle analiza situacije na velikom prostranstvu. Zadatak makrosinoptičke analize je utvrđivanje položaja dela vremena, prvenstveno atmosferskih frontova. Za meteorološko obezbeđenje letenja, pored makrosinoptičke analize vremena, primenjuje se i mezosinoptička analiza vremena.

Mezoprocesi su oni čije su razmere od nekoliko do 1000 km. Predmet mezoanalize može da bude samo oblačnost, a cilj joj je da se saznaju uzroci postanka i da se odgovori na pitanje zašto oblaci daju ili ne daju padavine, zašto je donja osnova oblaka na određenoj visini, itd.



Sl. 9.13 Prikaz prostorno-vremenskih razmera u atmosferi.

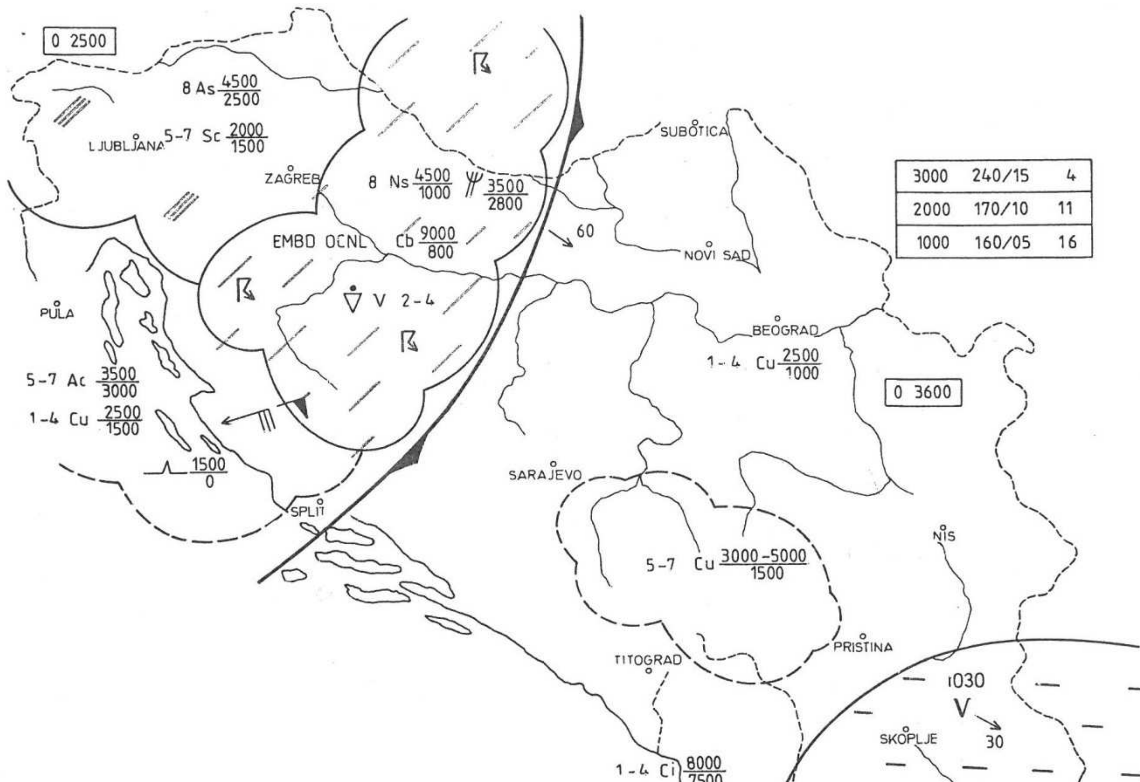
Odgovor na takva pitanja osnova je za objektivnu prognozu oblačnosti, padavina i drugi pojava.



Sl. 9.14 Vrste padavina koje se mogu javiti u oblaku.

Savremeni transportni avioni uglavnom mogu da lete u gotovo svim meteorološkim uslovima. Međutim *moći leteti* što u okviru civilnog vazdušnog saobraćaja znači poleteti, ispeti se na zadati nivo leta, leteti na liniji leta, spustiti se i sleteti, nije ni izdaleka isto što i *moći* izvršavati zadatke u okviru letačke i borbene obuke pilota.

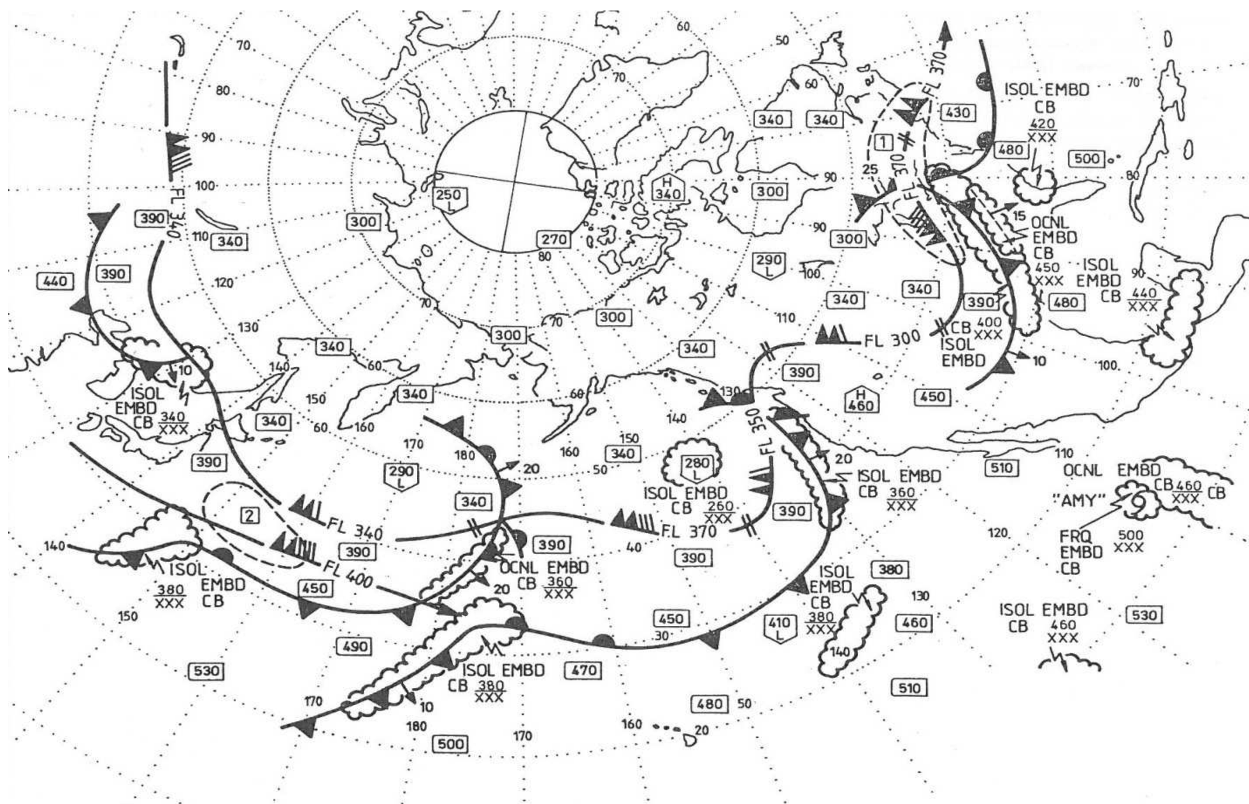
Vazduhoplovna meteorološka karta (VMK) namenjena je meteorološkom obezbeđenju letenja.



Sl. 9.15 Vazduhoplovna meteorološka karta.

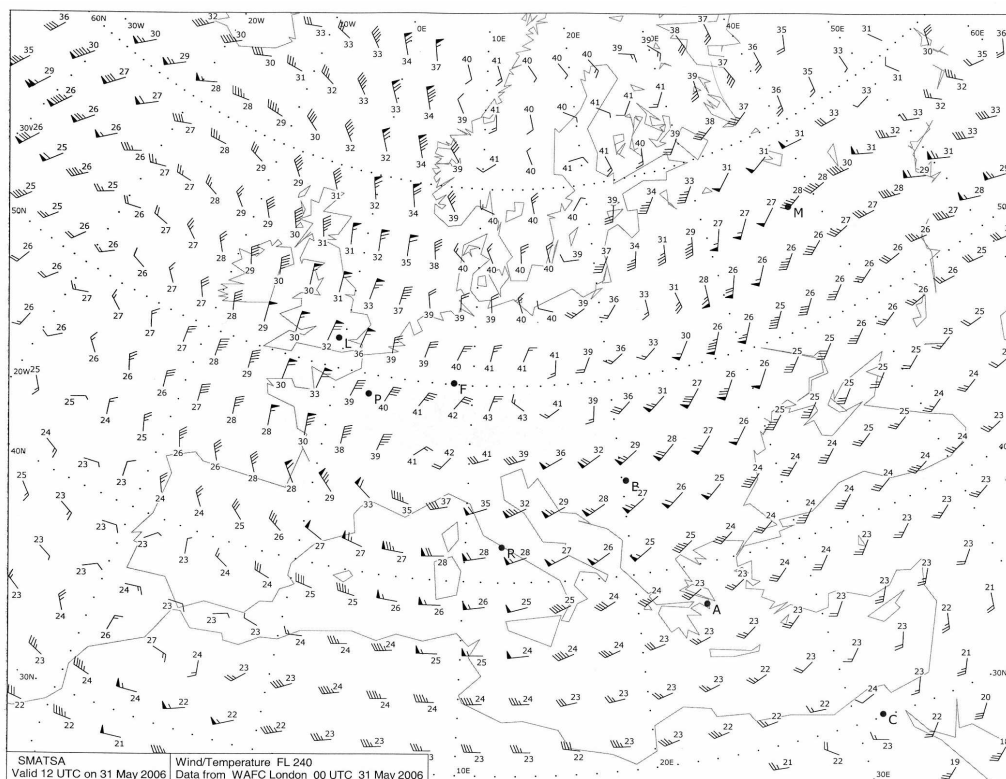
Mezoanalitičkim postupkom koji se na njoj primenjuje omogućava se uočavanje, praćenje i prognoziranje meteoroloških pojava i elemenata značajnih za vazduhoplovstvo. Zbog toga

ona predstavlja važan deo osnove za izdavanje prognoza tipa TREND i TAF, za izradu *karata značajnog vremena* (SWL), za vazduhoplovno meteorološko bdenje (VMB) i sistem upozoravanja aerodromskih meteoroloških centara na meterorološke pojave od izuzetnog značaja za vazduhoplovstvo.

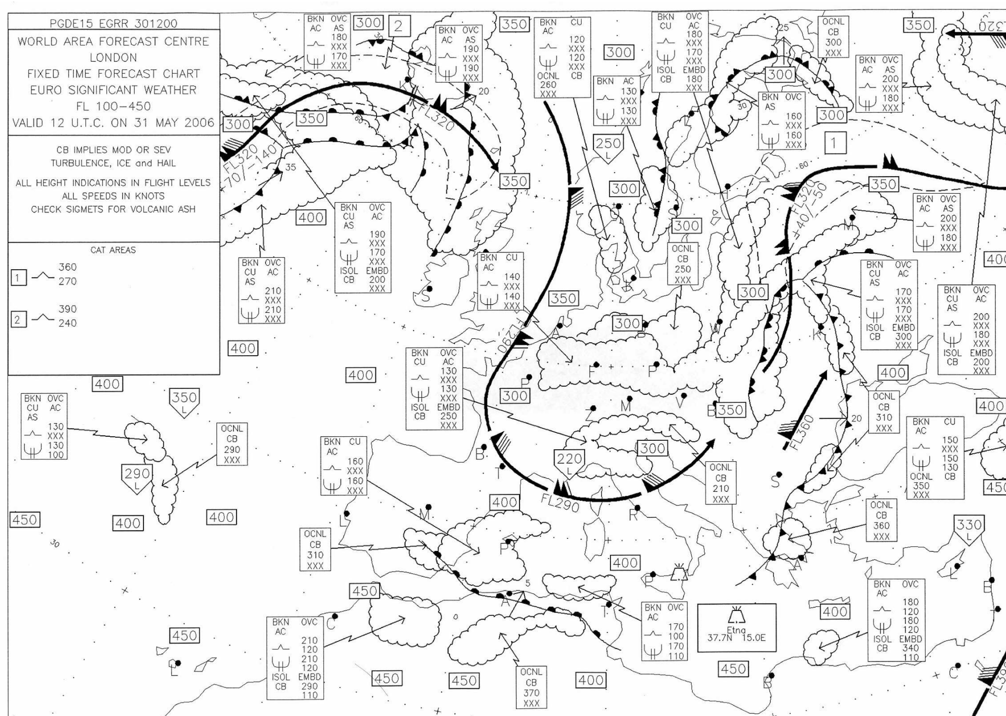


Sl. 9.16 SWC za letove iznad FL250.

Primeri karata prognoza za polje vetra, temperature i relativne vlažnosti, kao i karta značajnog vremena za dan 31. 05. 2006. za oblast Evrope prikazani su na slikama 9.17 i 9.18.



Sl. 9.17 Karta 12-časovne prognoze vetra (čvorovi) i temperature (°C, vrednosti su negativne) na određenom nivou leta.



Sl. 9.18 Karta 12-časovne prognoze značajnog vremena na liniji leta.

Od meteoroloških izveštaja koji se ucrtavaju na VMK najvažniji su METAR i SYNOP. Kod METAR izveštaja grupe za značajno vreme, ukupnu oblačnost, temperaturu vazduha i tačku rose ucrtavaju se kao kod SYNOP izveštaja.

Grupa za vetar ucrtava se na isti način, sem što se maksimalni udari vetra ucrtavaju dodatnom strelicom iz istog pravca. Na primer: 07018/34

Grupa za vidljivost ucrtava se u kilometrima, kao celobrojna vrednost ili sa jednom decimalom. Na primer: 1300m $_{1,3}$○, 4000 m $_{4}$ ○ , 999 $_{10}$ ○ .

Grupe za pritisak i vidljivost duž piste ucrtavaju se nedešifrovane, tj. isto kao što su napisane u METAR izveštaju.



Sl. 9.19 Šema za ucrtavanje METAR izveštaja.

Grupe za oblake sadrže podatke o količini, vrsti i visini baze oblaka. Vrsta oblaka ucrtava se znakovima datim na slici, količina oblaka odgovarajućim brojem desno od znaka, a visina baze u metrima ispod njih.

Ci	Cc	Cs	Ac	As	Ns	Sc	St	Cu	Cb

Sl. 9.20 Znakovi za ucrtavanje vrste oblaka datih u METAR izveštaju.

Vetar promenljivog pravca (VRB) ucrtava se talasastom linijom, a znak za Ns ucrtava se na mestu za srednje, a njegova količina i visina baze na mestu za niske oblake. I drugi podaci (SIGMET, AIREP, radarska osmatranja, satelitski snimci, visinska osmatranja) koriste se na pogodan način za vazduhoplovno-meteorološku analizu. Analitički postupak obuhvata svako satnu analizu: *frontova i centara pritiska, oblaka, pojava, vetra i temperature.*

Analiza frontova i centara pritisaka: položaji frontova i centara pritisaka ucrtavaju se na uobičajen način, crvenom, plavom i ljubičastom bojom. Pravac i brzina kretanja frontova i

centara pritiska označavaju se strelicom i brojem kraj nje, crnom bojom. Ove vrednosti se određuju na osnovu promena položaja frontova i centara pritiska u prethodnih šest sati. Osim frontova, ucrtava se i linija nestabilnosti.

Analiza oblaka: cilj ove analize jeste utvrđivanje prostorne raspodele oblačnosti. Zone sa različitom količinom ukupne oblačnosti označavaju se pomoću izolinija 8/8 i 5/8. Prva od njih je neprekidna, a druga crtkasta linija, konkavnom stranom okrenute ka zoni koju ograničavaju. Ukoliko unutar ovako označene zone postoje značajne razlike u rodu, količini ili vertikalnoj raspodeli oblačnosti, ona se isto talasnom linijom deli na više zona. Pri čemu je konkavna strana izolinije okrenuta ka zoni sa većom količinom i nižom bazom niskih oblaka. Unutar svake od ovih zona označava se količina, rod, baza i gornja granica svakog sloja oblačnosti posebno, pri čemu se oznake upisuju jedna ispod druge prirodnim redosledom. Količina pojedinih rodova oblaka označava se samo u intervalima 1-4, 5-7 i 8 (osmina). U oblasti gde je vedro, ne obeležava se nikakva oznaka. Rod oblaka upisuje se uobičajenom dvoslovnom skraćenicom, neposredno iza oznake za količinu. Baza i gornja granica oblaka upisuju se u vidu razlomka, neposredno iza oznake za rod, gde imenilac predstavlja apsolutnu (nadmorsku) visinu baze, a brojilac apsolutnu visinu gornje granice oblaka, u metrima, zaokrugljeno na manju od susednih stotina metara.

Za označavanje količine kumulonimbusa ne koriste se brojčani intervali nego skraćenice ISOL, OCNL, FRQ koje odgovaraju pojavi izolovanih dobro razdvojenih i zbijenih kumulonimbusa. Ispred svake od ovih skraćenica, ako su kumulonimbusi zamaskirani drugim oblacima, upisuje se skraćenica EMBD.

Kada se, na nekom prostoru predviđa pojava ISOL Cb, za pilota to znači da, neće biti potrebe za njihovim obilaženjem u toku leta. Kada su kumulonimbusi dobro odvojeni (OCNL), za pilota to znači da se u toku leta mogu obilaziti promenom kursa. Pri učestaloj pojavi kumulonimbusa (FRQ) u nekoj oblasti, njihovo obilaženje promenom kursa je, gotovo, nemoguće.

Analiza pojava: Cilj ove analize je utvrđivanje prostorne raspodele, vrste i intenziteta pojava značajnih za vazduhoplovstvo: padavine, grmljavinske nepogode, magle i drugih pojava koje smanjuju vidljivost, zaleđivanje aviona, turbulencije i planinskih talasa i smicanje vetra na malim visinama. Pojedinačna pojava padavina obeležava se uobičajenim zelenim znakom.

Sl. 9.21 Simboli kojima se obeležavaju padavine na karti.

Kišna zona obeležava se tako što se uokviri zelenom linijom i ispuni šrafiranim kosim zelenim linijama. Ako se radi o drugoj vrsti padavina, unutar šrafiranih linija stavlja se

odgovarajući znak. Deo zone sa drugačijom vrstom padavina, ograničava se crtkastom zelenom linijom.

Grmljavinske nepogode

Pojedinačna pojava se naznačava uobičajenim izdizanjem, crvenim simbolom (Sl. 21). Zona sa ovom pojavom poklapa se sa zonom FRQ Cb.

Magle i druge pojave koje smanjuju vidljivost

Pojedine pojave označavaju se izdizanjem, braon bojom. Zona sa ovom pojavom uokviruje se braon linijom i ispunjava šrafirana, u obliku isprekidanih horizontalnih linija. Unutar svake ovakve oblasti je, crnom bojom znak za tu pojavu, vertikalnu rasprostranjenost i vidljivost u njoj (sl. 9.22).

Primer: Magla debela 200 m, sa vidljivošću 200 – 500 m; zamućenost u sloju 600 – 1000 m aposlutne visine, sa vidljivošću 4 – 6 km.

$$\equiv \frac{200}{0} \text{ V } 0.2—0.5$$

$$\infty \quad \frac{1000}{600} \text{ V } 4—6$$

Sl. 9.22 Primer oznake smanjene vidljivosti.

Ako je vidljivost u zoni sa padavinama manja od 10 km, to se označava crnom bojom ovako:

∴ **V 6 – 10 ,** ✳ **V 0.2 -0.5, itd.**

Zaleđivanje aviona

Odgovarajući znak za zaleđivanje aviona ucrtava se crnom bojom, neposredno iza oznake oblaćnog sloja zaleđivanja (sl. 9.23).

$$8 \; N_s \; \frac{4500}{1000} \; \text{Ш} \; \frac{4200}{3500}$$

$$5—7 \; A_c \; \frac{3500}{3200} \; \text{Ш} \; \frac{3400}{3300}$$

Sl. 9.23 Primer oznaka zaleđivanja.

Znak se ne ucrtava uz C_b, gde podrazumevamo jako zaleđivanje.

Turbulencija i planinski talasi

U oblasti gde se javlja, obeležava se crnom bojom odgovarajući znak za turbulenciju i sloj u kojem se javlja (sl. 9.24).



Sl. 9.24 Primer oznaka turbulencije.

9.7 INFORMACIJE ZA ČLANOVE POSADE I KORISNIKE VAZDUHOPLOVA

Meteorološke informacije dostavljaju se korisnicima vazduhoplova i članovima posada za:

a) planiranje pre početka leta;

b) korišćenje pre poletanja;

c) vazduhoplove u letu;

d) planiranje letenja za letačku obuku i druge potrebe.

Meteorološke informacije daju se korisnicima vazduhoplova i članovima posada na jedan od sledećih načina, prema sporazumu između organa zaduženog za poslove meteorološkog obezbeđenja vazdušne plovidbe i zainteresovanih korisnika, i po redu koji ne povlači prioritet:

a) pisani ili štampani materijal, uključujući određene karte i obrasce (meteorološki bilten);

b) podaci o tačkama mreže u digitalnom obliku;

c) brifing;

d) konsultacija;

e) prikaz (monitor).

Meteorološke informacije koje zahteva kontrola leta ili neki drugi organ za vođenje vazduhoplova u vezi sa potrebama aviona koji se nalazi u opasnosti, moraju se dostaviti što je pre moguće.

Za supersonične avione meteorološke informacije se dostavljaju oblasnoj kontroli leta i moraju da obuhvate nivoe koji se koriste za zvučno i nadzvučno letenje kao i prognozu za putanju spuštanja do aerodroma u regionu oblasne kontrole leta.

Meteorološke informacije za planiranje pre početka leta uključuju neke ili sve informacije, prema zahtevu:

1. Stvarni ili prognozirani vetar, temperaturu na visini i topografiju tropopauze;
2. Postojeće ili očekivane značajne vremenske pojave na liniji leta;
3. Prognozu za poletanje i aerodromske izveštaje ili aerodromske prognoze vremena.

Meteorološke informacije za planiranje leta za supersonični transport treba da sadrže podatke za nivoe koji se koriste za transonični i supersonični let. Naročito je važno istaći postojanje i očekivanje, položaj i vertikalnu rasprostranjenost oblaka kumulonimbusa, turbulencije i padavina.

Informacije o visinskom vetru, temperaturi na visini i značjanom vremenu na liniji leta koje se zahtevaju za planiranje pre početka leta treba da se daju odmah pošto postanu dostupne, ali ne kasnije od tri časa pre poletanja. Druge meteorološke informacije potrebne za planiranje pre početka leta normalno se dostavljaju čim je to izvodljivo.

Konsultaciju (brifing) pre poletanja aviona daje dežurni vazduhoplovni meteorolog na zahtev vođe vazduhoplova ili predstavnika njegove vazduhoplovne kompanije. Cilj ovoga je

da se pruže poslednje raspoložive informacije o postojećim ili očekivanim meteorološkim uslovima na liniji leta, na planiranom aerodromu sletanja, na alternativnim aerodromima kao i drugim značajnim aerodromima, bilo da se objasni i proširi informacija sadržana u dokumentaciji za let ili da se koristi umesto dokumantacije za let.

Meteorološke informacije koje se koriste za konsultaciju (brifing) sadrže neke ili sve podatke, prema zahtevu:

1. Stvarni ili prognozirani visinski vetar, temperaturu na visini i topografiju tropopauze;
2. Postojeće ili očekivane značajne vremenske pojave na liniji leta;
3. Prognozu za poletanje i aerodromske izveštaje ili prognoze za aerodrome.

Konsultacija (brifing) za letačko osoblje supersoničnog transportnog aviona treba da sadrži meteorološke informacije za nivoe transsoničnog i supersoničnog leta. Naročito treba istaći postojanje, očekivanje, lokaciju i vertikalnu rasprostranjenost kumulonimbusa, turbulencije i padavina.

Konsultacija za letove na niskoim nivoima, uključujući letove koji se vrše u skladu sa pravilima o vizuelnom letu, treba da sadrže meteorološke informacije koje obuhvataju nadmorske visine sve do nivoa leta 100. Treba istaći postojanje ili očekivanje padavina, magle i drugih pojava koje uzrokuju rasprostranjeno smanjenje vidljivosti na manje od deset kilometara, kao i postojanje ili očekivanje pojave oblačnosti koja može da utiče na let.

Ako vazduhoplovna meteorološka služba izrazi mišljenje o razvoju meteoroloških uslova na aerodromu koje znatno odstupe od aerodromske prognoze uključene u dokumentaciju za let, letačkom osoblju se skreće pažnja na ovo odstupanje.

Zahtevanu konsultaciju, prikazivanje ili dokumentaciju za let daje vazduhoplovna meteorološka služba na aerodromu poletanja.

Da bi pružila pomoć letačkom osoblju i službama koje pripremaju let kao i konsultacije, vazduhoplovna meteorološka služba prikazuje poslednje raspoložive informacije:

1. Rutinske i odabrane specijalne izveštaje;
2. Aerodromske prognoze i prognoze za sletanje;
3. Aerodromska upozorenja koja se odnose na lokalni aerodrom;
4. Prognoze za poletanje;
5. Izveštaj iz aviona, uključujući slike vertikalnog preseka sadržane u popunjenim AIREP obrascima;
6. SIGMET izveštaj;
7. Tekuće i prognostičke karte;
8. Fotografije ili mozaik i nefanalize sa meteoroloških satelita;
9. Informacije o vremenu od prizemnih radara.

Dokumentacija za let:

1. Visinski vetar, temperaturu na visini i, ako je moguće, topografiju tropopauze;
2. Značajne vremenske pojave koje se očekuju na putu;
3. Aerodromske vazduhoplovne meteorološke prognoze.

Dokumentacija za let treba da se prikazuje u obliku karata, tabela, vertikalnih preseka ili u obliku otvorenog teksta sa skraćenicama.

Za letove koji traju dva ili više časova, karte koje treba da budu uključene u dokumentaciju za let, treba najmanje da sadrže kartu značajnog vremena, kartu visinskog vetra i temperature pogodne za livo leta i informaciju o topografiji tropopauze.

Visinske prognostičke karte su sastavni deo meteorološke dokumentacije koja se uručuje osoblju posade vazduhoplova. One treba da sadrže podatke o vetru i temperaturi vazduha na standardnim izobarskim visinama.

U tropskim predelima ili za kratke letove, umesto prognostičkih visinskih karata, letačkom osoblju se mogu uručivati tekuće (aktuelne) karte o vetru i temperaturi s tim što predstavljeni nivoi moraju odgovarati standardnim izobarskim nivoima.

Na visinskim prognostičkim kartama pravac vetra se prikazuje strelicama u odabranoj mreži tačaka, a u tropskim predelima strujnim linijama. Brzina vetra predstavlja se percima, a na kartama koje se odnose na tropske predele izotahama. Temperature vazduha na visinskim prognostičkim kartama daju se u odabranim tačkama mreže, i one su negativne ako se ispred broja ne nalazi znak +.

Visinske karte za supersonični transportni avion, odlikuje prikazivanje izopleta temperature pojačanim linijama tako da se vide odstupanja od međunarodne standardne atmosfere.

Kada se informacije o značajnim vremenskim pojavama za oblast koja pokriva vazdušnu liniju (liniju leta) daju letačkom osoblju pre leta u obliku karata, one predstavljaju karte značajnog vremena koje važe za određeno vreme. Takve karte sadrže:

a) frontove i zone konvergencije kao i očekivano vreme;

b) oblasti i nivoe koje su zahvatile oluje sa grmljavinama, tropski cikloni, žestoke linije oluja, grad, umerena ili jaka turbulencija u oblastima ili pri vedrom nebu, izraziti planinski talasi i prateća silazna strujanja vazduha, umereno ili jako zaleđivanje aviona, padavine koje se lede, rasprostranjena peščana ili prašinska oluja;

c) oblake povezane sa unačajnim pojavama na liniji leta;

d) centre sistema pritiska i očekivano kretanje.

Na kartama značajnog vremena za supersonične mlazne avione koji lete iznad nivoa leta FL 250 (oko 400 hPa) treba prikazati pojave i oblake koji se očekuju da će se javiti iznad tog nivoa.

Karte značajnog vremena za letove na niskim nivoima, uključujući letove koji se vrše u skladu sa pravilima o vizuelnom letenju, a koji se odvijaju do nivoa leta 100, treba da prikazuju:

a) frontove i zone konvergencije i očekivano kretanje;

b) oblast i nivoe koje su zahvatile oluje sa grmljavinom, troplski ciklon, grad, umerena ili jaka turbulencija u oblacima ili pri vedrom nebu, izraziti planinski talasi i proleće silazno strujanje vazduha, zaleđivanje aviona, padavine koje se lede, rasprostranjena peščana ili prašinska oluja, magla, padavine i druge pojave koje utiču na samanjenje vidljivosti na manje od 10 km;

c) količinu oblaka, vrstu i indikaciju visine baze i vrhova;

d) prizemnu vidljivost ako je manja od 10 km;

e) centre sistema pritiska i njihovo očekivano kretanje;

f) oznaku visine izoterme od 0°C ako je niža od vrha prostora za koji se daje prognoza.

Za letove koji traju manje od dva časa, karte koje u uključene u dokumentaciju za let treba najmanje da sadrže kartu značajnog vremena i kartu visinskog vetra i temperature na visini koja odgovara nivou horizontalnog leta, ili tabelarni prikaz prognoze visinskih vetrova i temperature na visini. Dokumentacija za let treba normalno da se daje neposredno pred poletanje aviona.

Kad god je moguće dokumentacija za let treba da se ažurira novim podacima pismeno ili usmeno pre nego što se dostavi letačkom osoblju. Vazduhoplovna meteorološka služba na aerodromu zadržava kopiju pismene ili štampane dokumentacije za let uključujući karte i određene obrasce, koji su dati letačkom osoblju najmanje 30 dana od datuma izdavanja.

Pored obavezne meteorološke dokumentacije vođama vazduhoplova se prikazuju i dopunske informacije kao: karta tropopauze i maksimalnog vetra, karta vertikalnog smicanja vetra, i dr.

Kada se informacija o konfiguraciji tropopauze daje u obliku karte, onda te karte treba da su karte tropopauze i vertikalnog smicanja ili karte tropopauze i maksimalnog vetra ili, alternativno, u tropskim predelima, izobarske karte ili karte strujnica sa informacijom o tropopauzi. Takve karte treba da sadrže visinu i srednju temperaturu tropopauze. Informacija o vertikalnom smicanju vetra treba da predstavlja aritmetičku sredinu apsolutnih vrednosti smicanja od 2400 metara (8000 stopa) ispod do 1200 metara (4000 stopa) iznad tropopauze.

Kada se dokumentacija za let daje u obliku vertikalnog preseka, onda se za liniju leta prikazuju:

a) frontovi i zone konvergencije;

b) značajne vremenske pojave na liniji leta;

c) oblake povezane sa značajnim vremenskim pojavama na liniji leta;

d) visinske vetrove i temperaturu na visini.

VOLMET služba je namenjena da vazduhoplovima u vazdušnom prostoru neprekidno obezbeđuje podatke o meteorološkim uslovima na teritoriji jedne ili više zemalja.

VOLMET služba funkcioniše na sledići način: na aerodromu Beograd skupljaju se METAR i TAF izveštaji aerodrma iz zemlje i okolnih zemalja; spiker očitava METAR i TAF izveštaje i snima ih na traku; na principu davanja tačnog vremena ove podatke može da prima svaka posada u vazdušnom prostoru ukoliko je avion opremljen odgovarajućim prijenikom.

Neprekidne VOLMET emisije obično se emituju na vrlo visokim frekvencijama (VHF) i sadrže tekuće izveštaje o vremenu za aerodrome.

Prognoze za aerodrome uključene u planirane VOLMET emisije imaju period važnosti od 9 časova; one se izdaju svaka tri časa, i ako je potrebno, između tih redovnih izdavanja, daju se izmene ili dopune tako da je sigurno da emitovana prognoza izražava poslednje mišljenje meteorološke službe o razvoju vremena.

SIGMET izveštaji se uključuju u planirane VOLMET emisije ako je tako određeno regionalnim vazduhoplovnim sporazumom. Gde je to učinjeno, SIGMET izveštaj ili oznaka NIL SIGMET prenosi se na početku emisije ili u toku petominutnog bloka.

9.8 OSMATRANJA I DOSTAVLJANJE IZVEŠTAJA IZ VAZDUHOPLOVA

Svaka zemlja potpisnica Konvencije (ICAO) treba da organizuje meteorološka osmatranja iz vazduhoplova koji lete na međunarodnim vazdušnim linijama. Osmatranja iz vazduhoplova vrše se kao:

1. Redovna;
2. Specijalna;
3. Osmatranja pri penjanju i prizemljenju;
4. Osmatranja na zahtev.

Redovna osmatranja iz vazduhoplova vrše se u odnosu na kontrolne tačke (orjentire) službe kontrole leta ili intervale vremena:

a) U kojima primena postupaka službe kontrole leta zahteva redovna javljanja pozicije;

b) Koji su odvojeni rastojanjem koje najpribližnije odgovara intervalima vremena od jednog časa letenja.

Vazduhoplov se oslobađa u vršenju redovnih osmatranja kada:

a) Trajanje leta je jedan čas;

b) Vazduhoplov se nalazi na rastojanju koje je ekvivalentno vremenu kraćem od jednog časa ili ako trajanje leta do odredišnog aerodroma takođe traje manje od jednog časa;

c) Visina putanje leta je ispod 1500 metara (5000 ft).

Specijalna osmatranja vrše se kada se:

a) Susretna jaka turbulencija ili jako zaleđivanje;

b) Susretne umerena turbulencija, grad ili oblaci roda cumulonimbus u toku zvučnog ili nadzvučnog letenja;

c) Osmotri ili susretne oblak vulkanskog pepela;

d) Susretnu drugi meteorološki uslovi, na primer, druge vremenske pojave na marš-ruti predviđene u SIGMET poruci, a koje mogu, po mišljenju pilota da utiču na bezbednost ili znatno da utiču na upravljanje drugih vazduhoplova;

e) Osmotri pre-eruptivna vulkanska aktivnost ili erupcija vulkana;

f) Izrazi potreba od strane osoblja meteorološke službe.

Osmatranja meteoroloških uslova vrše svi vazduhoplovi koji u fazi penjanja ili prilaženja susretnu pojave o kojima pilot nije obavešten, a koja po njegovom mišljenju verovatno mogu uticati na bezbednost leta drugih vazduhoplova (zaleđivanja (sl. 9.25), turbulenciju, smicanje vetra). Kada su uslovi smicanja vetra u fazi penjanja ili prilaženja javljeni ili prognozirani ali nisu primećeni, pilot informiše odgovarajuću službu leta što je moguće pre, osim ako neposredno pre poletanja ili sletanja ne sazna da je kontrola leta o tome već obaveštena od predhodnog vazduhoplova.



Sl. 9.25 Primer zaleđivanja aviona.

U meteorološkom obezbeđenju vazdušnog saobraćaja prioritetni su podaci o lokaciji i intenzitetu turbulencije i zaleđivanja. Velike površine Zemljine kugle (okeani, polarne, pustinjske i tropske oblasti) nisu dovoljno pokrivene mrežom prizemnih, a naročito visinskih meteoroloških stanica. Zbog toga izveštaji iz vazdušnog prostora o ovim i drugi pojavama predstavljaju značajan izvor podataka (sl. 8.9).

Piloti koji lete na međunarodnim linijama imaju obavezu da osmatraju značajne pojave za vazduhopovstvo i da ih dostavljaju meteorološkim službama u obliku AIREP izveštaja (AIREP = *air report* - izveštaj iz vazduha). Na nivou, visini leta, pilot-posada osmatra: *temperaturu vazduha, srednji ili trenutni vetar, D faktor, oblake, zaleđivanje i turbulenciju.*

Zaleđivanje se određuje po naslagama leda na spoljnim delovima aviona (spoljašnje zaleđivanje), a po promenama u pokazivanju nekih instrumenata određuje zaleđivanje na za njega nevidljivim mestima (unutrašnje zaleđivanje motora, pito-cevi...).

Turbulenciju određuje po manifestacijama koje se ispoljavaju bacanjem.

Srednji ili trenutni vetar i D faktor izračunavaju savremeni navigacijski sistemi (navigacijski dopler-radar i inercijalni navigacijski sistem).

Redovna i specijalna osmatranja iz vazduha beleže se na posebnom AIREP formularu u kome su sadržani sledeći elementi:

ODELJAK 1 Informacija o poziciji	ODELJAK 2 Operativna informacija	ODELJAK 3 Meteorološke informacije
Oznaka vrste poruke Indentifikacija vazduhoplova Pozicija Vreme Nivo leta ili visina Sledeća pozicija i vreme Naredna značajna tačka	**Predviđeno vreme dolaska** **Trajanje leta**	**Temperatura vazduha** **Vetar** **Turbulencija** **Zaleđivanje** **Dopunske informacije**

Veoma karakteristična specijalna osmatranja iz aviona o pre-eruptivnoj aktivnosti vulkana, erupciji vulkana ili oblaka vulkanskog pepela predstavljaju se takođe u obliku AIREP izveštaja:

ODELJAK 1

Pozicione, vulkanološke i meteorološke informacije

Oznaka vrste poruke

Indentifikacija vazduhoplova

Pozicija

Vreme

Nivo leta ili visina

Osmotrena aktivnost vulkana

Temperatura vazduha

Vetar

Dopunske informacije

Nakon leta pilot ili član njegove posade, ako je popunio AIREP formular, predaje ga vazduhoplovnoj meteorološkoj službi koja će uz postojeće meteorološke informacije priključiti i podatke osmotrene iz vazduhoplova, kao dopunske podatke.

Primer izveštaja o vulkanskoj aktivnosti:

VOLCANIC ACTIVITY REPORT YUSB 231500MT. St. Helen VOLCANO 5605N 12652W ERUPTED 231445 LARGE ASH CLOUD EXTENDING TO APPROX 30000 FEET MOVING SW.

Značenje: Izveštaj o vulkanskoj aktivnosti koji je izdala SIBY/Bistock meteorološka stanica 23-ćeg ovog meseca u 1500 UTC. Vulkan na planini St. Helen, 56^0 i 5’ severne g.š. 126^0 i 52’ zapadne geografske dužine, eruptirao je 23-ćeg ovog meseca u 1445 UTC. Osmotran je veliki oblak pepela koji se prostire približno 30000 stopa i koji se kreće u pravcu jugo-zapada.

9.9 VAZDUHOPLOVNE KLIMATOLOŠKE INFORMACIJE

Vazduhoplovne klimatološke informacije potrebne pilotima za planiranje letenja, pripremaju se u obliku aerodromskih klimatoloških pregleda, aerodromskih klimatoloških tabela i vazduhoplovnih tekstualnih klimatoloških monografija.

Aerodromske klimatološke tabele svaka država dužna je da prikupi i organizuje čuvanje potrebnih osmotrenih meteoroloških podataka i pripremu klimatoloških informacija. U tom cilju zadužena organizacija:

a) priprema aerodromske klimatološke tabele za sve međunarodne i druge aerodrome;

b) stavlja na rasploaganje klimatološke tabele organizaciji koja je zadužena za poslove meteorološkog obezbeđenja vazdušne plovidbe na aerodromima.

Aerodromske klimatološke tabele sadrže:

a) srednje vrednosti i odstupanje uključujući maksimalne i minimalne vrednosti meteoroloških elemenata (npr. temperature vazduha);

b) učestanost javljanja određenih vrednosti jednog ili kombinacije dve ili više elemenata (npr. kombinacija slabe vidljivosti i niske oblačnosti).

Aerodromske klimatološke tabele sadrže bar informacije o prizemnom vetru, vidljivosti ili RVR, količini i visini oblaka, temperaturi i pritisku.

Aerodromski klimatološke pregledi daju informacije o prizemnom vetru, vidljivosti ili RVR, količini i visini oblaka, temperaturi i pritisku; pregled se zasniva na istim osmotrenim podacima korišćenim pri izradi aerodromske klimatološke tabele.

Vazduhoplovne tekstualne klimatološke monografije neophodno je publikovati jer su one korisne za letačko osoblje s obzirom da se u njima nalaze podaci o meteorološkim i drugim važnim osobenostima vremena na vazdušnim linijama kao i aerodromima koji su vezani za letove vazduhoplova.

U vazduhoplovnim tekstualnim klimatološkim monografijam prikazuju se:

1. Fizičke i geografske vazdušnih linija;

2. Atmosferski procesi koji uslovljavaju letenje složenim;

3. Klimatološki podaci meteoroloških elemenata na vazdušnim linijama i aerodromima poletanja, sletanje i alternativnim aerodromima.

Vazduhoplovne tekstualne klimatološke monografije vazduhoplovnih linija i aerodroma veoma su korisne za vođe vazduhoplova i vazduhoplovne meteorologe, koji vrše meteorološko obezbeđenje vazdušnog saobraćaja, jer pružaju uvid u ’’prosečno’’ vreme na konkretnim linijama letenja i aerodromima koji su vezani za sletanje i poletanje vazduhoplova.

9.10 METEOROLOŠKE INFORMACIJE ZA SLUŽBE TRAGANJA I SPASAVANJA

Određene vazduhoplovne meteorološke službe na aerodromima, zadužene su da snabdevaju službe traganja i spasavanja meteorološkim informacijama. Informacije koje se dostavljaju centru za koordinaciju traganja sadrže meteorološke uslove koji su postojali u poslednjem poznatom položaju nestalog aviona i duž nameravane linije leta aviona sa naročitim osvrtom na:

a) značajne vremenske pojave na liniji leta;

b) količinu i vrstu oblaka, naročito kumulonimbusa; visine baza i vrhova;

c) vidljivost i pojavu smanjene vidljivosti;

d) prizemni i visinski vetar;

e) stanje tla, naročito snežni pokrivač ili plavljenje;

f) stanje mora i talase mrtvog mora ako može da se primeni na oblast traganja;

g) podatke o pritisku na morskom nivou.

Da bi se olakšale operacije traganja i spašavanja određena meteorološka služba treba da na zahtev dostavi:

a) potpune i detaljne informacije stvarnih i prognoziranih meteoroloških uslova u oblasti traganja;

b) stvarne i prognozirane uslove na liniji leta za letove aviona tragača i za povratak na aerodrom sa kojeg se vrši traganje.

Na zahtev centra, određena vazduhoplovna meteorološka služba treba da dostavi ili da obezbedi dostavljanje meteoroloških informacija koje zhtevaju brodovi koji vrše operacije traganja i spašavanja.



Sl. 9.26 Šta reći kad se avion izgubi.

9.11 SPECIFIČNOSTI METEOROLOŠKOG OBEZBEĐENJA RAZLIČITIH TIPOVA VAZDUHOPLOVA

Danas se u civilnom međunardnom vazdušnom saobraćaju najviše koriste veliki širokotrupni avioni koji su za vazduhoplovne kompanije najrentabilniji, jer mogu da ponesu više stotina putnika i prebace ih za kratko vreme na velike udaljenosti.

Izbor meteorološke informacije i dokumentacije koja se prezentuje pilotima zavisi od konkretnog leta aviona, oblasti u kojoj se odvija letenje, visina na kojima se odvija let, dužine vazdušne linije i tipa aviona koji imaju strogo određena ograničenja letenja - navigacione i meteorološke minimume.

Meteorološke informacije za planiranje kao i pred poletanje aviona treba da sadrže tendenciju razvoja sinoptičkih procesa i prognoze vremena kako u prizemnim slojevima tako i visinama od 8000 do 14000 metara. Tu spadaju:

1. Prizemna prognostička karta koja pokriva liniju leta;

2. Visinske prognostičke karte vetra i temperature AT400, AT300 i AT200 hPa;

3. Prognostička karta značajnog vremena;

4. Prognostička karta tropopauze i maksimalnog vetra;

5. Aerodromske prognoze vremena za polazni, terminalni i alternativne aerodrome;

6. Najnoviji tekući meteorološki podaci na aerodromu sa koga avion poleće i trend prognoza za poletanje aviona;

7. SIGMET informacije na vazdušnoj liniji i pojedinim aerodromima (upozorenja) koja su značajna za konkretan let.

Nadzvučni avioni lete brzinama koje su veće od 1000 km, oni za relativno kratko vreme mogu dospeti u različite delove sveta gde vladaju veoma različiti vremenski uslovi. Stoga je važno da i meteorolozi, a i piloti poznaju te uslove. U tu svrhu danas se koristi postojeća klasifikacija teritorija u kojima su predstavljene nepovoljne meteorološke pojave koje direktno mogu uticati na bezbedno sletanje i poletanje aviona.

Osobenosti i čestine uslova vremena koji su pogodni ili nepogodni za poletanje i sletanje aviona, određuju se karakteristikama klime, uticajem opšteplanetarnih procesa i lokalnim faktorima kao što su: reljef, blizina vodenih površina ili gradova.

Meteorološko obezbeđenje letenja i upravljanje komercijalnim nadzvučnim avionima zahteva specifične osobine, kao što su: veliki dijapazon brzina, posebnoi uslovi brzine letenja u stratosferi, velike vertikalne brzine izbora visina i sniženja visina, neophodnost letenja aviona po plafonu (gornja granica letenja) i nastajanje zvučnih udarnih talasa.

Osim uobičajnih informacija o meteorološkim uslovima za poletanje i sletanje aviona u prizemnim slojevima atmosfere. U posebnim slučajevima neophodni su i podaci o turbulenciji vedrog neba (CAT), upozorenja i podaci o uslovima za rasprostiranje zvučnih talasa, dejstvu Sunčevog i kosmičkog zračenja na putnike i posade aviona.

Danas u vazdušnom prostoru leti veliki broj malih vazduhoplova koji se nazivaju malom ili opštom avijacijom. Vazdušne linije male avijacije najčešće povezuju manja naselja i gradove na kraćim rastojanjima čiji su aerodrome opreljeni za poletanje i sletanje opšte aviacije. Za letove na lokalnim vazdušnim linijama koristi se niži deo vazdušnog prostora i uglavnom se leti po pravilima vizuelnog letenja.

Niži vazdušni prostor javlja se kao oblast troposfere u kojoj se dešavaju najveće promene vremena i veoma složeni atmosferski procesi. Brojne lokalne vazdušne linije prelaze iznad veoma složenog reljefa sa komplikovanim rasporedom kopna i vodenih površina te je pri analizi, razradi vazduhoplovnih meteoroloških prognoza za opštu avijaciju potrebno dobro poznavanje svestranog uticaja lokaliteta mesta ili oblasti na razvoj meteoroloških elemenata i pojava koje su važne za vazdušni saobraćaj.

Avioni sa elisnim motorima opšte avijacije koji su u širokoj primeni letenja, više su izloženi dejstvu atmosferskih pojava od reaktivnih mlaznih aviona. Takođe su avioni opšte avijacije su manje opremljeni tehničkim sredstvima za borbu protiv zaleđivanja i imaju manje mogućnosti da u letu otkriju i izbegnu nepogode sa grmljavinama, grad i intenzivne padavine.

Radijus dejstva sredstava radioveze pri letenju aviona na malim visinama znatno je smanjen te je vođa vazduhoplova često u nemogućnosti da se konsultuje sa kontrolom leta ili vazduhoplovnom meteorološkom službom na aerodromu.

S obzirom da letenje aviona po lokalnim vazdušnim linijama traje kraće vreme, vođama vazduhoplova se ne uručuje pismena meteorološka dokumentacija već se sa njima obavi detaljna konsultacija o stvarnom i prognoziranom vremenu sa posebnim osvrtom na elemente vetra, vidljivosti, visine oblaka i meteoroloških pojava koje su opasne za letenje opšte avijacije.

Danas se avijacija koristi i u mnogim poljoprivrednim granama, kao na primer za: tretiranje obrađenog zemljišta veštačkim đubretom, sejanje useva, prskanje hemijskim sredstava (sl. 9.27), uništavanje insekata, patroliranje šumskih pojaseva, razbijenje leda na rekama, ukazivanje hitne zdravstvene pomoći bolesnicima, dopremanje hrane i vode u zavejanim ili poplavljenim oblastima kao i za razna snimanja iz vazduha.



Sl. 9.27 Poljoprivredna avijacija.

Meteorološko obezbeđenje privredne avijacije vrši se pomoću vazduhoplovnih meteoroloških prognoza sa važnošću do šest časova u napred. Kod obezbeđenja privredne avijacije pri tretiranju poljoprivrednih površina hemijskim sredstvima, prvo se na polaznom aerodrmu vrši upoznavanje pilota sa meteorološkim i klimatološkim osobinama oblasti koja je namenjena za tretiranje iz vazduha. Nakon toga pilot dobija prognozu vremena za radni dan aviona, a pred samo poletanje podatke o stvarnom vremenu za lokalitet koji se obrađuje. Posebna pažnja se obraća na pojačani prizemni vetar, umerenu i jaku prizemnu turbulenciju, mogućnost obrazovanja magle, sumaglice i drugih meteoroloških pojava koje su karakteristične za sloj vazduha do 100 metara.

Pri radu privredne avijacije na tretiranju poljoprivrednih površina, najvažniji su sledeći meteorološki faktori:

1. Pravac i brzina prizemnog vetra;
2. Temperaturna inverzija do visine 100 metara;
3. Horizontalna vidljivost i
4. Visina donje baze oblaka.

Najveće dozvoljene brzine prizemnog vetra za letove preko 50 metara iznad zemljišta pri tretiranju poljoprivrednih površina iznose:

Za prskanje insekticidima	**Do 4 m/s**
Za prskanje herbicidima	**Do 3 m/s**
Za prskanje fungicidima	**Do 4 m/s**
Za razbacivanje granuliranog đubriva	**Do 6 m/s**
Za razbacivanje negranuliranog đubriva	**Do 5 m/s**
Za rasipanje semena	**Do 4 m/s**

Prikazane vrednosti mogu se u toku 10 minuta prekoračiti najviše za 25%. Ako vetar počne da duva sa udarima u više mahova u toku 10 minuta ili ako dođe do većeg prekoračenja navedenih brzina, tada se tretiranje zemljišta mora prekinuti.

Meteorološko obezbeđenje aviona sa kratkim poletanjem i sletanjem (STOL= **S**hort **t**ake **o**ff and **l**anding aircrafts). Poznato je da su tokom 1970. godine zemlje sa razvijenom vazduhoplovnom industrijom kao što su SAD, Nemčka, Francuska i Kanada počele projektovati, konstruisati i vršiti eksperimente i testiranje aviona sa kratkim poletanjem i sletanjem. Ovi avioni imaju cilj da rasterete vazdušni saobraćaj koji se odvija na velikim međunarodnim aerodromima, da sleću i poleću sa kraćih poletno-sletnih staza koje se mogu graditi blizu gradskih naselja, da smanje vremensko trajanje avionskih štetnih šumova i pojavu zvučnih talasa i da vazdušni saobraćaj učine ekonomičnijim.



Sl. 9.28 Specijalne letelice – hidroavioni.

Obezbeđenje specijalnih letelica-hidroaviona slično je obezbeđenju aviona privredne aviacije s tim što hidroavioni poleću i sleću sa vodenih površina – akvatorija (sl. 9.28), i to sa mora, reka, jezera ili specijalno izgrađenih vodenih bazena. Pri obezbeđivanju sigurnosti poletanja i sletanja hidroaviona za vođenje vazduhoplova je pored meteoroloških podataka o vetru, oblačnosti, ograničene vidljivosti, temperaturi vazduha i opasnih meteoroloških pojava za letenje, neophodno prikupiti i niz hidroloških podataka koji omogućuju posadama bezbedno upravljanje hidroavionima. To su podaci o temperaturi vode, kolebanju nivoa vode, obliku i intenzitetu talasanja, strujanju vode, ledenom režimu vode kao i karakteristikama plime i oseke. Hidroavioni poleću i sleću isto kao i avioni pri čeonom vetru pa je ovaj meteorološki element presudan pri startu ili doletu ovih letelica.

Meteorološko obezbeđenje aviona koji prevoze velike terete iziskuje posebne specifičnosti kada se radi o pojedinim meteorološkim elementima. To se odnosi na temperaturu vazduha i vazdušni pritisak. Da bi avion sa velikim teretom vazduha mogao da poleti, potrebno je da vazduh u prizemnim slojevima atmosfere bude što gušći kako bi sila uzgona aviona bila što veća i efikasnija pri uzdizanju aviona. Za svaki tip aviona i njegovu težinu sa teretom koji osi postoje određeni normativi za poletanje kada se radi o meteorološlkim uslovima. Ispod granica tih normi, poletanje aviona se zabranjuje.



Sl. 9.29 Prevoz velikih tereta i helikopteri.

Putničke helikopterske vazdušne linije danas su razvijene u mnogim zemljama sveta. Helikopter je u vazduhoplovstvu najsavršeniji predstavnik porodice aparata sa vertikalnim poletanjem i sletanjem. On slično avionu, treba da poleti i spusti se protiv vetra pa njegovu poletno-sletnu stazu treba prilagoditi pravcu preovlađujućih vetrova. Ovaj zahtev predstavlja veoma važan element u uslovima složenih konfiguracija zgrada u gradu gde helikoptersko uzletište ima samo jednu stazu sa dva dijametralno suprotna sprata.

Danas u troposferi i stratosferi lete vazduhoplovi koji isključivo koriste aerodinamičku silu uzgona. Znajući da jedan komercijalni putnički avion prosečno troši za jedan čas letenja 30 pa i više tona goriva, da njegova četiri mlazna aviona utroše 4000 tona vazduha kao i činjenicu da pomenuti motori izbacuju ogromnu masu izduvnih gasova koji zagađuju atmosferu. Došlo se do ideje da se ožive konkretni projekti za ekonomičniju letelicu – dirižabl.



Sl. 9.30 Ekonomičnije letilice od aviona – dirižable.

Oni mogu uzleteti vertikalno, leteti kroz vazduh i spustiti se gotovo na svakoj ravnijoj površini. Dirižabl je manje šuman, za let manje troši goriva i neznatno zagađuje atmosferu. Otporni su na lom elisa ili otkaz sistema za upravljanje, napunjeni su bezopasnim gasom helijumom imaju čvrste i skoro neprobojne balone kojima ne smeta sneg i zaleđivanje, snabdeveni su automatskim uređajima za navigaciju. Najopasnije pojave i procesi u atmosferi pri letenju dirižabla su: nepogode sa jakim grmljavinama i vetrom, intenzivna turbulencija i vertikalno smicanje vetra, tropski cikloni i vidljivost pri sletanju. Stoga je ove pojave portebno precizno odrediti i prognozirati njihov budući položaj, razvoj, intenzitet i kretanje.

LITERATURA

[1] Ćurić, M.: *Dinamika oblaka*, Republički hidrometeorološki zavod Srbije, Beograd, 1998.

[2] Čobanov, Z.: *Vazduhoplovna meteorologija*, Naučna knjiga, 1980.

[3] Gavrilov, M.: *Vazduhoplovna meteorologija*, JAT Pilotska akademija, Vršac, 2001.

[4] Jovanović, Ž.: *Vazduhoplovna meteorologija*, Savezna uprava za kontrolu letenja, Centar za obrazovanje i usavršavanje, Beograd, 1984.

[5] Lazić, L.: *Analiza vremena*, Republički hidrometeorološki zavod, Beograd, 2012.

[6] Lazić, L.: *Asimilacija podataka*, Republički hidrometeorološki zavod, Beograd, 2010.

[7] Lazić, L.: *Prognoza vremena*, Republički hidrometeorološki zavod, Beograd, 2010.

[8] Lovrić, J.: *Vazduhoplovna meteorologija*, str. 374, SSNO, Beograd, 1988.

[9] Pavlica, J.: *Osnovi vazduhoplovne meteorologije*, str. 319, Vojnoizdavački i novinski centar, Beograd, 1986.

[10] Shapiro, M. A., and D. Keyser, 1990: *Fronts, Jet Streams and Tropopause*: Extratropical cyclones: The Erik Palmen Memorial Volume, Ed. American Meteorological Society, Boston.

INTERNET STRANE

http://www.airbus.com/fileadmin/media_gallery/files/safety_library_items/AirbusSafetyLib_-FLT_OPS-OPS_ENV-SEQ06.pdf

http://www.alpa.org/Portals/Alpa/VolcanicAsh/VolcanicAsh.htm

http://www.skybrary.aero/index.php/Volcanic_Ash

http://www.boeing.com/commercial/aeromagazine/aero_09/volcanic_story.html

http://en.wikipedia.org/wiki/1980_eruption_of_Mount_St._Helens

http://en.wikipedia.org/wiki/Galunggung

http://news.nationalgeographic.com/news/2010/05/photogalleries/100518-mount-st-helens-americas-most-dangerous-volcanoes-science-pictures/#/most-dangerous-volcanoes-united-states-mount-redoubt-alaska_20371_600x450.jpg

http://pubs.usgs.gov/fs/1997/fs113-97/

http://library.thinkquest.org/16132/html/volcanoinfo/recentdisasters/mar5popo.html

http://news.nationalgeographic.com/news/2010/04/100415-volcanic-ash-cancels-flights-airports-airline-europe-iceland-volcano/

http://www.physorg.com/news190572036.html

http://inoworkshop.eurocontrol.fr/Previous/dmdocuments/prezDay.3/day3.tLekas.pdf

http://inoworkshop.eurocontrol.fr/Previous/dmdocuments/prezDay.3/day3.tLekas.pdf